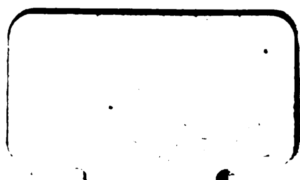


GRUNDRISS

DER

ELEKTROTECHNIK.

Für den praktischen Gebrauch, für Studierende der Elektrotechnik und zum Selbststudium.

Verfasst von

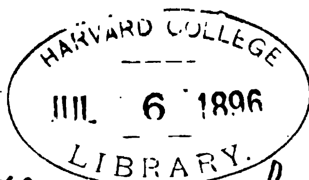
Heinrich Kratzert,
Ingenieur und Lehrer der Elektrotechnik an der k. k. Staatsgewerbeschule in Wien, X.

I. THEIL.

Maße, Messungen, Elektrische Maschinen und Motoren sammt einer Einleitung über allgemeine Elektricitätslehre.

Mit 278 Abbildungen.

LEIPZIG UND WIEN.
FRANZ DEUTICKE.
1894.



K. und k. Hofbuchdruckerei Karl Prochaska in Teschen.

Vorwort.

Die vorliegende Arbeit ist aus Vervielfältigungen hervorgegangen, die ich während meiner gleichzeitigen Thätigkeit als Ingenieur und Lehrer der Elektrotechnik an der k. k. Staatsgewerbeschule im X. Wiener Gemeindebezirke für meine Hörer herausgegeben habe.

In der Einleitung gebe ich eine auszugsweise Uebersicht über das Gebiet der allgemeinen Elektricitätslehre mit besonderer Berücksichtigung der praktischen Nutzanwendungen, welche hauptsächlich den Anfänger für das Studium des folgenden Gegenstandes vorbereiten soll.

Da diese Arbeit sowohl für den praktischen Gebrauch, als auch für ein eingehendes Studium als Grundlage dienen soll, habe ich die wissenschaftliche Darstellung der physikalischen Maße und das Wichtigste aus der Theorie und Berechnung der dynamoelektrischen Maschinen und Motoren aufgenommen. Diese Lehren stellen größere Anforderungen an den Leser, können jedoch, ohne den Zusammenhang des Gegenstandes zu stören, übergangen werden.

Mit dem reichlichen Materiale, das ich während meiner vieljährigen praktischen Thätigkeit gesammelt habe, hoffe ich nicht nur dem angehenden Ingenieur, Elektrotechniker und Monteur, sondern auch dem Studierenden der Elektrotechnik dienlich zu sein.

Indem ich diese vielfach umgearbeiteten und vermehrten Vervielfältigungen über meine Vorträge der Oeffentlichkeit übergebe, erübrigt mir der Wunsch, dass dieselben in weiteren Kreisen dieselbe freundliche Aufnahme finden mögen, wie in dem engeren Kreise meiner Hörer.

Wien, am 30. März 1894.

Der Verfasser.

Inhalts-Verzeichnis.

Einleitung.

Elektricität der Ruhe.

Elektricität der Bewegung.

Angewandte Elektricitätslehre oder Elektrotechnik.

I. Abschnitt.

Elektrische Maße.

II. Abschnitt.

Messungen.

III. Abschnitt.

Elektrische Maschinen und Motoren.

Einleitung.

1. Gegenstand. Alles, was wir durch unsere Sinne wahrnehmen können, heißt Sinnenwelt oder Natur.

Die Wissenschaft, welche sich mit der Erforschung und Erkenntnis alles dessen, was wir durch unsere Sinne wahrnehmen können, befasst, heißt Naturwissenschaft oder Naturkunde.

Mit den Sinnen nehmen wir wahr:

a) Natur-Körper oder Gegenstände, das sind mit Stoff (Materie oder Substanz) ausgefüllte, allseitig begrenzte Theile des Raumes und

b) Erscheinungen oder Phänomene (Eigenschaften und Veränderungen), die nicht allein, sondern nur an den Körpern vorkommen, z. B. Ton, Farbe, Ruhe, Bewegung u. s. w.

Die Naturwissenschaft zerfällt demnach in die Beschreibung der Naturkörper (Naturprodukte im Gegensatze zu Kunstprodukten), Naturbeschreibung oder Naturgeschichte und in die Untersuchung der an den Körpern auftretenden Erscheinungen, Naturlehre.

Die Naturkörper zerfallen in organische Körper (Thiere und Pflanzen) und unorganische (leblose) Körper.

Mit den Erscheinungen an den unorganischen Körpern befassen sich die Physik und die Chemie. Jene Erscheinungen, bei welchen der Stoff der Körper nicht verändert wird, gehören in das Gebiet der Physik, jene Erscheinungen dagegen, bei welchen der Stoff der Körper verändert wird, in das Gebiet der Chemie.

Die nächsten Zweige der Physik sind: Die Mechanik, der Schall, die Lehre vom Licht, die Wärmelehre, der Magnetismus und die Elektricität.

Die Elektricitätslehre zerfällt in die allgemeine Elektricitätslehre und in die angewandte Elektricitätslehre oder Elektrotechnik.

Die allgemeine Elektricitätslehre lehrt die Erscheinungen, die Gesetze und Wirkungen der Elektricität, die angewandte Elektricitätslehre oder Elektrotechnik dagegen wendet die Wirkungen der Elektricität in der elektrotechnischen Industrie für die verschiedensten Zwecke des praktischen Lebens an.

Die allgemeine Elektricitätslehre zerfällt:

In die Elektricität der Ruhe (Reibungselektricität, statische Elektricität oder Elektrostatik), welche die Erscheinungen, die Gesetze, sowie die Wirkungen sehr kurze Zeit dauernder (augenblicklicher oder momentaner) Ströme (elektrischer Schläge) oder auf längere oder kürzere Zeit unterbrochene Folgen solcher Ströme, zum Gegenstande hat und

in die Elektricität der Bewegung (Berührungselektricität, dynamische Elektricität, Galvanismus oder Voltaismus), welche sich mit den Erscheinungen, den Gesetzen und den Wirkungen einer ununterbrochenen (continuirlichen) Gegenströmung und Vereinigung der beiden entgegengesetzten Elektricitäten befasse.

Elektricität der Ruhe.

I. Kapitel.

Die Elektricität im Zustande der Isolation.

2. Elektricität. Reibt man einen Glasstab (eine Glasröhre) mit einem amalgamirten Leder, so erhält derselbe folgende Eigenschaften:

a) Der Glasstab zieht Hollundermarkkügelchen, Papierschnitzelchen u. s. w. an und stößt sie nach der Berührung wieder ab.

b) Beim Reiben hört man ein knisterndes Geräusch.

c) Zwischen Reibzeug und Glasstab springen kleine Funken über, aus dem Glasstabe kann man mit den Fingern Funken ziehen, die im Finstern sichtbar sind.

Ein Körper, welcher diese Eigenschaften besitzt, ist elektrisch. Die Ursache elektrischer Erscheinungen, nennt man Elektricität.

Bei sämmtlichen Versuchen über Reibungselektricität ist insbesondere darauf zu achten, dass die Apparate trocken und warm sind und bleiben.

Nach der Geschichte der Physik war dem griechischen Philosophen Tales von Milet (600 v. Chr.) die Eigenschaft des Bernsteines (ēlectron), durch Reiben die Fähigkeit zu erlangen, andere Körper anzuziehen, bekannt; erst im Jahre 1600 wurde dieselbe Eigenschaft an andern Körpern von dem englischen Physiker William Gilbert nachgewiesen.

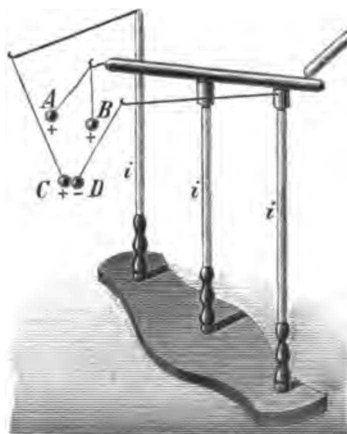


Fig. 1.

3. Positiv und negativ elektrische Körper. Theilt man zwei nebeneinander befindlichen Ballons *A* und *B*, Fig. 1, die Elektricität einer geriebenen Glasstange mit, so werden sich dieselben abstoßen. Dasselbe geschieht, wenn man den beiden Ballons die Elektricität einer mit Wolle oder Pelz geriebenen Harzstan geübermittelt. D. h.:

Gleichnamige Elektricitäten stoßen einander ab.

Theilt man, Fig. 1, einem Ballon *C* Glas-, dem anderen *D* Harz-Elektricität mit, so ziehen sie einander aus größerer Entfernung an. D. h.:

Ungleichnamige Elektricitäten ziehen einander an.

Sobald sich letztere Ballons berühren, heben die beiden Elektricitäten einander auf, ähnlich wie positive und negative Größen in der Mathematik. D. h.:

Gleiche Mengen positiver und negativer Elektricität heben sich auf (neutralisiren sich). Dieses Gesetz steht im Zusammenhange mit der Annahme, dass jeder unelek-trische Körper beide Elektricitäten in gleicher Menge enthalte.

Man nennt mit Franklin (1751) die Glaselektricität die positive, die Harzelektricität die negative Elektricität.

4. Gute und schlechte Leiter der Elektricität. Körper, welche die Elektricität, wenn sie mit einem elektrischen Körper bestrichen werden, schnell aufnehmen und sie ebenso schnell an ihre Umgebung abgeben, nennt man gute Leiter der Elektricität; diese müssen, wenn ihre Elektricität andauern soll, durch schlechte Leiter der Elektricität (Isolatoren oder Diëlektrika) isolirt werden, das sind solche Leiter, welche die Elektricität sehr langsam aufnehmen und sehr langsam abgeben.

Gute Leiter sind die Metalle, Kohle u. s. w., schlechte Leiter dagegen Glas, Porzellan, Guttapercha, Kautschuk, Holz, Ebonit, Vulkanit, Baumwolle, Hanf, Jute, Seide, Papier, Pressspan, Fibre, Stabilit, Glimmer u. s. w.

5. Mittheilung der Elektricität. Streicht man einen guten Leiter mit einem elektrischen Körper, so wird derselbe durch Mittheilung gleichnamig elektrisch; die Menge der Elektricität, die der gestrichene Körper gleich nach der Mittheilung besitzt, hat der streichende Körper verloren.

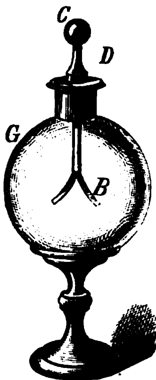


Fig. 2.

6. Elektroskope. Jeder Apparat, welcher dazu dient, den elektrischen Zustand eines Körpers und die Art desselben zu erkennen, nennt man ein Elektroskop.

Eines der gebräuchlichsten Instrumente ist das Goldblattelektroskop von Bennet (1887), Fig. 2. In einem Glasballon *G* sind die beiden Goldblättchen *B* an einem Messingdrahte *D* befestigt. Der Messingdraht ist an der Einführung in den Ballon durch Schellak isolirt. Das Ende des Messingdrahtes steht mit dem Kollektorknopfe *C* in metallischer Verbindung.

1. Versuch. Erkennung des elektrischen Zustandes eines Körpers. Legt man an den Knopf *C*

einen elektrischen Körper, so werden die beiden Pendel *B* gleichnamig elektrisch und stoßen einander ab.

2. Versuch. Unterschied zwischen positiver und negativer Elektricität. Theilt man dem Knopfe *C* Glaselektricität mit, so gehen die beiden Pendel *B* auseinander, sie fallen jedoch zusammen, wenn man dem Knopfe *C* gleich darauf Harzelektricität mittheilt.

7. Elektricität durch Fernwirkung. Nähert man, Fig. 3, einem elektrischen Körper *A* einen unelektrischen *BC*, welchen der Glasträger *J* isolirt trägt, so wird der letztere Körper an der Seite *B* ungleichnamig, an der Seite *C* gleichnamig elektrisch mit dem Körper *A*. Man nennt diese Elektricität, Elektricität durch Fernwirkung, Vertheilung, Influenz oder Induktion.

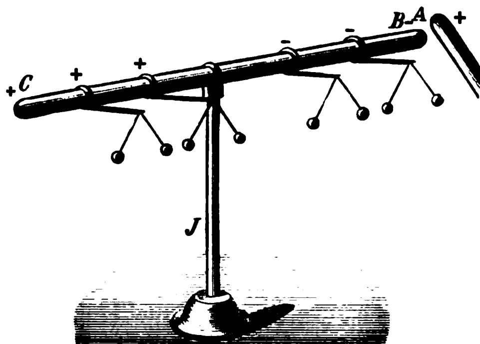
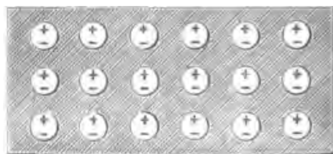


Fig. 3.

8. Natürliche und gebundene Elektricität. Jeder Körper ist von Natur aus elektrisch und enthält beide Elektricitäten in gleicher Menge (§ 3). Berührt man, Fig. 3, den Körper *BC* mit dem Finger, so springt zwischen Körper und Finger ein Funke über, die Pendel in *C* fallen zusammen, d. h. die positive Elektricität ist zur Erde abgeleitet worden, die Pendel bei *B* stoßen einander stärker ab, d. h. die negative Elektricität des Körpers *BC* bleibt von der positiven des Körpers *A* gebunden.

9. Diëlektrische Polarisation. Auch auf Nichtleiter wirkt die Elektricität in die Ferne ein, jedoch nur derart, dass die entgegengesetzten Elektricitäten in den kleinsten Theilchen (Massentheilchen oder Molekülen) derselben getrennt werden, sowie es Fig. 4 veranschaulicht. Dieser Zustand der Nichtleiter heißt diëlektrische Polarisation. Jedes Massentheilchen zeigt + und — Elektricität. Die ungleichnamigen Pole sind, ähnlich wie in Fig. 3, dem in die Ferne wirkenden elektrischen Körper zu-, die gleichnamigen dagegen abgewendet.


Fig. 4.

10. Die Elektrisirmaschine (Otto von Guericke, 1663), Fig. 5. Die wichtigsten Bestandtheile der Elektrisirmaschine sind folgende:

a) Ein zu reibender Körper, Glasscheibe *G*.

b) Ein reibender Körper, Reibzeug, Reibkissen *R* überzogen mit einem Amalgame aus Quecksilber, Zinn und Zink.

c) Ein isolirter Leiter, + Konduktor *C*, welcher die erzeugte + Elektricität aufnimmt.

d) Ein isolirter Leiter, — Konduktor *K*, welcher die erzeugte — Elektricität aufnimmt.

Auf dem Konduktor kann behufs Vergrößerung seiner Oberfläche, der sogenannte Winter'sche Ring aufgesteckt werden. Derselbe besteht aus einem Kupferdraht, welcher sich innerhalb eines Holzringes befindet. Kupferdraht und Konduktor stehen in metallischer Verbindung, so dass durch den Kupferdraht die Oberfläche des Konduktors vergrößert erscheint.

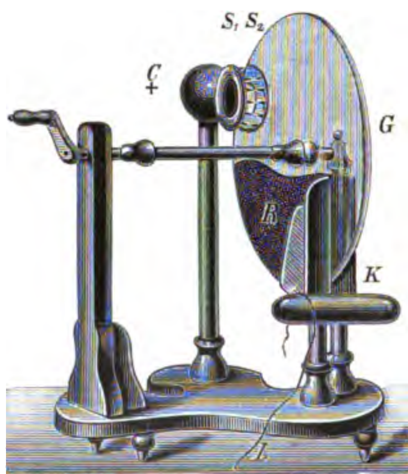


Fig. 5.

Aus den beiden Holzringen S_1 und S_2, welche sich zu beiden Seiten der Glasscheibe *G* befinden, ragen, gegen die Scheibe hin, metallische Saugspitzen hervor, von denen eine Metalleitung zum Konduktor führt. Die Saugspitzen saugen die + Elektricität, durch die sogenannte Spitzenwirkung, von der Glasscheibe *G* auf den + Konduktor *C*. Beim Reiben werden die Scheibe positiv, das Reibzeug negativ elektrisch. Die — Elektricität strömt auf den — Konduktor *K*. Eine von diesen beiden Elektricitäten muss zur Erde abgeleitet werden, wenn sich die beiden Elektricitäten nicht schon beim Entstehen wieder vereinigen sollen. In Fig. 5 deutet *L* die Leitung zur Erde an.

Einfache Elektrisirmaschinen stellen Übersetzungen, z. B. Riemenübersetzungen, dar.

Bei dem Schleifen des Riemens überspringen zwischen Riemen und Scheibe Funken, aus dem Riemen kann man Funken ziehen.

11. Die Hydroelektrisirmaschine (Armstrong, 1840) erzeugt Elektricität durch Reibung von Wasserdämpfen an dem Hahne eines isolirten Dampfkessels.

12. Die Ansammlungsapparate (Kondensator und Ladungsapparat). Von dem Konduktor einer Elektrisirmaschine aus kann man einem Leiter nur so lange Elektricität mittheilen, bis die elektrische Dichte des Leiters gleich derjenigen des Konduktors ist. Zur Ansammlung grosser Mengen beider Elektricitäten in zwei von einander isolirten Leitern oder einer Elektricität in einem Leiter und zur Verdichtung kleiner Elektricitätsmengen, um dieselben nachweisen und messen zu können, dienen die sogenannten Ansammlungsapparate; sie beruhen wesentlich auf der im § 7 beschriebenen Fernwirkung der Elektricität.

Die Kondensatoren werden in Platten-, Cylinder- und Kugelkondensatoren eingetheilt.

13. Plattenkondensatoren. Diese Kondensatoren bestehen aus zwei sich gegenüberstehenden, parallelen, leitenden Platten. Zwischen den Platten befindet sich ein Isolator.

Die Platte, welcher Elektricität mitgetheilt wird, heißt Kollektor-, die andere Kondensatorplatte.

1. Der Ansammlungsapparat von Riess (1853), Fig. 6. Die wichtigsten Bestandtheile dieses Apparates sind der Kollektor *A*, der Kondensator *B* und der Fortsatz *C* sammt der Kugel, getragen von dem Kollektor *A*. Klappt man *B* um das Gelenke *b* um und verbindet *C* mit dem + Konduktor einer Elektrisirmaschine, so wird *A* durch Mittheilung positiv elektrisch. Dreht man nun *B* in die der Figur entsprechende Stellung zurück, so wirkt *A* auf *B* vertheilend ein. Die *A* zugewendete Fläche von *B* wird durch Fernwirkung negativ, die abgewendete positiv elektrisch. Die + Elektricität von *B* wird die — Elektricität von *B* neutralisiren (§ 3). Leitet man jedoch die + Elektricität *B* zur Erde ab, so wird die — Fläche von *B* stärker elektrisch. Diese — Elektricität zieht die + Elektricität von *A* und *C* in die dem Kondensator zugewendete Fläche von *A*, so dass die Dichte der Elektricität in *A* und *C* vermindert wird. Die Dichte der Elektricität der Fortsatzkugel sinkt unter die des Konduktors der Elektrisirmaschine



Fig. 6.

und bei gegenseitiger Berührung muss auf die Fortsatzkugel wieder Elektricität übergehen. Dieser Vorgang wiederholt sich so lange, bis die Dichte der Elektricität der Fortsatzkugel gleich ist der Dichte der Elektricität auf dem Konduktor der Elektrisirmaschine; der Ansammlungsapparat ist geladen.

Unter der Verstärkungszahl eines Ansammlungsapparates versteht man den Quotienten der Dichte des Kollektors durch die des Konduktors oder den Quotienten der Dichte der Fortsatzkugel vor und nach der Drehung des Kondensators bei der ersten Einströmung der Elektricität.

$$\text{Verstärkungszahl} = \frac{\text{Dichte des Kollektors.}}{\text{Dichte des Konduktors.}}$$

Nach Rieß gelten folgende Gesetze:

1. Für größere Scheiben ist die Verstärkungszahl größer.

2. Die Verstärkungszahl nimmt ab, wenn die Entfernung zunimmt (bei kleineren Entfernungen umgekehrt proportional).

3. Die Verstärkungszahl nimmt etwas zu, wenn die Länge der Zuleitung stark abnimmt.

4. Die Verstärkungszahl ist größer, wenn der Ableitungsdraht des Kondensators zu seiner Fläche parallel lauft, als wenn er dazu senkrecht ist.

5. Die Verstärkungszahl ist größer, wenn die Zuleitung nach der Mitte des Kollektors, anstatt nach dem Rande hin erfolgt.

6. Die Verstärkungszahl hängt von der Art des Isolators ab.

Bei einem Scheibendurchmesser von 184 *mm*, einer Scheibenentfernung von 4·5 *mm*, einer Dichte am Ende der Zuleitung von 0·155 von der Anfangsdichte war die Verstärkungszahl $= \frac{1}{0{\cdot}155} = 6{\cdot}4$; bei einer Entfernung von 9 *mm* $= \frac{1}{0{\cdot}274} = 3{\cdot}6$.

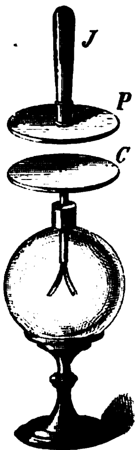


Fig. 7

2. Kondensatorelektroskop, Fig. 7. Volta hat den Ansammlungsapparat dazu verwendet, um Elektricitäten von geringer Dichte nachzuweisen. Schraubt man anstatt des Kollektorknopfes *C*, Fig. 2, auf die Zuleitungsstange des Elektroskopes die Kondensatorplatte *C* und stellt darauf die Kollektorplatte *P* mit dem isolirenden Glasgriffe *J*, so veranschaulicht diese Anordnung ein sehr empfindliches Instrument zur Nachweisung ganz geringer Elektricitätsmengen. Kollektor und Kondensator sind, an

den sich berührenden Flächen, mit einer Firnisschichte überzogen, welche als Isolator dient. Theilt man bei dieser Anordnung der Kollektorplatte *C* z. B. + Elektricität mit und berührt die Kondensatorplatte *P* ableitend, so zeigt das Elektroskop + Elektricität an, wenn die Kondensatorplatte abgehoben wird.

3. Die Franklin'sche Tafel, Fig. 8, besteht aus einer viereckigen Glastafel, welche zu beiden Seiten mit Staniol so belegt ist, dass ein breiter Rand frei bleibt. Der freibleibende Rand wird, um Feuchtigkeit abzuhalten, mit Siegellackfirnis bestrichen.

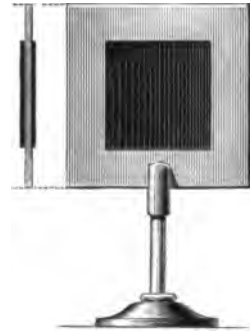


Fig. 8.

4. Glimmer-, Paraffin- und andere Kondensatoren werden durch Übereinanderschichtung von Staniolblättern und Blättern aus isolirendem Materiale (Glimmer, Paraffin u. s. w.) hergestellt. Die Leiter werden abwechselnd zu einer gemeinsamen Elektrode verbunden. Siemens & Halske verwenden als Isolator zumeist Glimmer, Zellweger & Ehrenberg Hartgummi, Berthoud, Borel & Co. Papier, welches mit einem Gemische aus Leinölfirnis und Kolophonium getränkt ist. In der Telegraphie dient paraffinirtes Papier als Diëlektricum.

5. Die Normalkondensatoren von Siemens & Halske bestehen aus einem Systeme von übereinanderliegenden Metallscheiben, welche sich, sorgfältigst isolirt, in einem Kasten befinden. Während des Gebrauches wird durch den Kasten trockene Luft von 20° C. geblasen.

6. Jede Luftleitung z. B. eine Telegraphen- oder Telephonleitung stellt einen Kondensator vor; die Leitung bildet einen, die Erde den zweiten Leiter, die Luft den Isolator.

14. Cylinderkondensatoren sind aus von einander isolirten, leitenden Cylindern zusammengesetzt.

1. Die Leydnerflasche (Kleist 1745, Cuneus 1746), Fig. 9, sammelt größere Elektricitätsmengen an, als ein Leiter für sich aufzunehmen vermag. Sie besteht aus einem innen und außen bis zu $^2/_3$ seiner Höhe mit Staniol belegten Glasbecher, auf dessen freien Oberfläche, zur Abhaltung von Feuchtigkeit, Siegellackfirnis aufgetragen ist. Während die eine Belegung leitend mit der Erde verbunden ist, führt man der anderen Elektricität z. B. dadurch zu, dass man den Knopf *K*



Fig. 9.

an den Konduktor einer thätigen Elektrisirmaschine legt. Stärkere elektrische Ladungen erhält man, wenn man die äußeren und inneren Belegungen mehrerer Flaschen zu einer sogenannten Batterie verbindet.

2. Kabel für die elektrische Beleuchtung und Kraftübertragung besitzen einen inneren Kupferleiter, einen Isolator und einen äußeren Blei- (oder Blei- und Eisenband-) Leiter und sind deshalb, sowie Telegraphen- und Telephonkabel, als Kondensatoren anzusehen.

15. Kugelkondensatoren. Verbindet man eine metallene Hohlkugel mit einer Elektrisirmaschine und bringt dieselbe im Innern einer zweiten metallenen Hohlkugel an, welche mit der Erde leitend verbunden ist, so erhält man einen Kugelkondensator.

16. Kondensatoren.

Die Kondensatoren sind nur für augenblickliche Stromwirkungen durchlässig, für längere dagegen erweisen sie sich als undurchdringlich; sie finden deshalb nur Anwendung in der Elektricität der Ruhe und für Wechselströme.

Schaltet man einen Kondensator an die Pole einer Gleichstrom-Elektricitätsquelle (Element oder elektrische Gleichstrommaschine), so wird sich derselbe bis zum Potentiale der Elektricitätsquelle laden; eine weitere Elektricitätsströmung erscheint ausgeschlossen. Bei der letzteren Anordnung stellen die Kondensatorplatten die Fortsetzung der Pole der Elektricitätsquelle vor und müssen deshalb, als Theile derselben, dasselbe Potential besitzen.

Anwendung der Kondensatoren in der Elektrotechnik: Beleuchtung und Kraftübertragung mittels Wechselstrom, Telegraphie und Telephonie.

17. Die Diëlektricität (Faraday 1838, Boltzmann 1872—75). Befinden sich zu beiden Seiten eines Nichtleiters entgegengesetzte elektrische Ladungen, so wird in dem Nichtleiter ein eigenthümlicher Zustand hervorgerufen, welcher auf die Ladungen zurückwirkt. Man nennt diesen Zustand und die damit verbundenen Veränderungen der Ladungen Diëlektricität (Siehe auch § 9). Die Zahl, welche anzeigt, wie vielmal so stark die Ladung eines Kondensators bei Anwendung eines anderen Diëlektricums ist als der Luft, heißt Vertheilungszahl[1]) (Diëlektricitätskonstante, specifische Induktionskapacität) des Isolators.

---

[1]) Dr. von Waltenhofen „Die internationalen absoluten Maasse" Seite 110.

Vertheilungszahlen.

Gase 1	Ebonit 2·08—3·15
Oele 2—5	Guttapercha 2·46—4·2
Glas (versch. Sorten) 1·76—10·1	Kautschuk 2·50—2·9
Glimmer 4—8	Paraffin 1·68—2·32
Schwefel 1·71—3·48	Schellack 1·95—3·75

18. Die Influenzelektrisirmaschine (Holz, 1865) erzeugt aus einer gegebenen kleinen Elektricitätsmenge durch ununterbrochene Influenzwirkung große Elektricitätsmengen. Poggendorf hat im Jahre 1876 mit solchen Maschinen das Problem der Kraftübertragung durch Influenzelektricität gelöst, indem er den Strom einer Influenzelektrisirmaschine in eine zweite schickte und so deren drehbare Scheibe in Rotation versetzte. Die Influenzelektrisirmaschinen liefern viel größere Elektricitätsmengen als die bisher besprochenen Apparate.

19. Die atmosphärische Elektricität.

Die Elektricität der Luftschichten ist in der Regel +, die der Wolken bald +, bald —.

20. Blitz, Donner, Blitzableiter. Den Entladungsfunken zweier Wolken oder einer Wolke und der Erde nennt man den Blitz, das durch denselben verursachte Geräusch den Donner. Den Ausgleich der Elektricitäten der Gewitterwolken und der Erde vermittelt der Blitzableiter (Benjamin Franklin, 1753).

21. Das Nordlicht (Polarlicht) ist eine atmosphärische Lichterscheinung, welche aus einer leuchtenden Krone am nördlichen Horizonte (Nordlichtkrone) besteht.

22. Ruhende Elektricität.

Die Reibungselektricität ist die Quelle der ruhenden Elektricität; letztere wird weiters durch alle Vorgänge erregt, welche eine ähnliche Erschütterung der Massentheilchen (Moleküle) von Körpern zur Folge haben.

Solche Erschütterungen rufen hervor:

1. Feilen, Schaben, Zerschneiden, Zerbrechen, Auseinanderreißen vieler Substanzen, Druck und Erwärmung.

Beispiele: Die von Harz, Wachs, Holz u. s. w. abgeschabten Theile sind elektrisch. Beim Zerschneiden von Holz, Abspalten von Glimmer- oder Gypsblättchen zeigen die Spaltungsflächen Spuren von Elektricität. Die Bruchflächen einer gebrochenen Siegellackstange sind elektrisch. Zerschneidet man einen Kork und drückt die Schnittflächen gegeneinander, so zeigen sie Spuren von Elektricität. Viele Krystalle werden durch Druck oder Erwärmung elektrisch. Durch Druck erhalten elektrische Eigenschaften: Doppelspat, Arragonit, Flussspat, Bergkrystall; durch Erwärmung: Turmalin u. s. w.

Mit den elektrischen Erscheinungen an den Krystallen befasst sich die Pyroelektricität.

2. Flussspat wird durch Beleuchten elektrisch. Erscheinungen dieser Art nennt Hankel photoelektrische, dagegen aktinoelektrische das Elektrischwerden des Bergkrystalls u. s. w. nach Absorption von Wärmestrahlen.

3. Der Verbrennungsprocess; die Flammen des Wasserstoffgases, Alkohols u. s. w. haben elektrische Eigenschaften.

4. Das Glimmen der Körper z. B. die Elektricität erzeugt durch das Anzünden eines Räucherkerzchens u. s. w.

5. Das Verdampfen. Chemisch reines Wasser bleibt beim Verdampfen unelektrisch; das Wasser wird + und der Dampf — elektrisch, wenn es mit den Oxyden von Kalium, Natrium, Calcium oder Barium gemischt erscheint, das Wasser wird — und der Dampf + elektrisch, wenn das Wasser eine lösliche Säure, ein Carbonat, Sulfat, Chlorid, Nitrat oder Acetat aufgenommen hat. Verdampft man mit diesen Salzen gemischtes Wasser unter einem Drucke, welcher größer ist, als der Luftdruck, so wächst die Menge der Elektricität mit dem Drucke.

II. Kapitel.

Die Wirkungen der Elektricität.

23. Die Wirkungen des elektrischen Stromes lassen sich am besten mit Hilfe eines Dauerstromes, wie wir ihn in der Berührungselektricität kennen lernen werden, nachweisen. Hier kommen nur die Wirkungen der augenblicklichen Ströme der ruhenden Elektricität, die Wirkungen des raschen Verlaufes und plötzlichen Ausgleiches großer Elektricitätsmengen des Entladestromes in Betracht.

Die Wirkungen des galvanischen Stromes zerfallen:

I. Wirkungen im Schließungskreise.

1. Physiologische Wirkungen.
2. Chemische Wirkungen.
3. Wärmewirkungen.
4. Lichtwirkungen.
5. Mechanische Wirkungen.

II. Wirkungen außerhalb des Schließungskreises.

1. Magnetische Wirkungen.
2. Elektrische Wirkungen.

I. Wirkungen im Schließungsbogen.

24. Physiologische Wirkungen.

Schaltet man seinen Körper in den Schließungsbogen einer Elektricitätsquelle, so fühlt man im Augenblicke der Entladung einen Schlag

im Innern des Körpers. Starke Entladungen können dauernde Lähmungen, ja sogar den Tod zur Folge haben. Lässt man auf eine Stelle des Körpers den Strom oft überspringen, so bildet sich daselbst eine Blase.

25. Chemische Wirkungen.

Der Entladungsstrom zerlegt chemisch zusammengesetzte Flüssigkeiten.

26. Wärmewirkungen.

Durch den Funken der Elektrisirmaschine kann man Äther, Alkohol, Terpentin und andere ätherische Öle ebenso Knallgas, feste Körper, Schießpulver, Schießwolle, Dynamit, Meganit u. s. w. entzünden. Starke Entladungen bewirken das Roth-, Weißglühen und Schmelzen eines Drahtes.

Anwendung: Elektrische Glüh- und Funkenzündung.

27. Lichtwirkungen.

Die elektrische Entladung durch die Luft, irgend ein Gas oder Flüssigkeiten ist mit einer Lichterscheinung verbunden. Beim Entladen einer elektrischen Batterie, einer Elektrisirmaschine u. s. w. sieht man helle Funken überspringen.

28. Mechanische Wirkungen.

Die aus den Spitzen des Konduktors einer Elektrisirmaschine ausströmende Elektricität bringt Bewegungen hervor, von den Spitzen geht ein Luftstrom aus, den man leicht mittels einer Flamme und weiters dadurch, dass er fühlbar ist, nachweisen kann. Elektrische Entladungen durchlöchern Papier, Glas u. s. w.

II. Wirkungen außerhalb des Schließungskreises.

29. Magnetische Wirkungen.

Der um eine Magnetnadel geführte augenblickliche Strom vermag dieselbe abzulenken. Stahlnadeln, welche in der Nähe des Entladestromes liegen oder um welche derselbe geführt wird, erscheinen dauernd magnetisch.

30. Elektrische Wirkungen.

Die elektrischen Wirkungen sind Influenzwirkungen. Körper, welche dem Konduktor einer Elektrisirmaschine nahe stehen, werden durch Influenz elektrisch. Entladet man den Konduktor plötzlich, so vereinigen sich die früher durch Influenzwirkung getrennten Elektricitäten ebenfalls plötzlich. Diese Erscheinung führt den Namen elektrischer Rückschlag.

Elektricität der Bewegung.

I. Kapitel.

Die Entstehung des galvanischen Stromes.

31. Elektricitätserregung durch den chemischen Process (Galvani 1789, Volta 1794).

Ebenso wie durch Reibung entsteht durch Berührung zweier Körper mit einander Elektricität.

Taucht man zwei verschiedene Metalle in eine Flüssigkeit, so dass sie mit der Flüssigkeit und durch diese mit einander in Berührung stehen, so werden sie an beiden Enden (inner- und außerhalb der Flüssigkeit) entgegengesetzt elektrisch.

Die Metalle und die Kohle zeigen auch freie Elektricität, wenn man sie einzeln in eine Flüssigkeit taucht; die Flüssigkeit besitzt die entgegengesetzte Elektricität.

Die Ursache der Elektricitätserregungen nennt man elektromotorische Kraft; letztere wirkt auf die sich berührenden Körper gleichsam vertheilend ein, hebt den natürlichen Zustand der Körper (§ 8) auf, führt die positive Elektricität auf den einen, die negative Elektricität auf den anderen Pol und erhält die entgegengesetzten Elektricitäten getrennt.

Unter einem elektrischen Strome versteht man die dauernde Erzeugung, Gegenströmung und Vereinigung der beiden Elektricitäten in einem Leiter.

Die Metalle und die Kohle lassen sich in eine Reihe bringen, welche die Eigenschaft besitzt, dass:

a) das in der Reihe vorangehende Glied an dem aus der Flüssigkeit hervorragenden, freien Ende negativ elektrisch wird,

b) der Unterschied in der elektromotorischen Kraft der Endpole derselbe ist, es mögen sich die Metalle und die Kohle unmittelbar oder durch ihre Zwischenglieder in der Reihe berühren und

c) die elektromotorische Kraft um so größer ist, je weiter die Metalle in der Spannungsreihe auseinander stehen.

Die wichtigsten Glieder dieser sogenannten Spannungsreihe sind: Amalgamirtes Zink, Zinn, Blei, Eisen, Kupfer, Silber, Gold, Platin und Kohle.

Galvani beobachtete 1789, dass ein Froschpräparat zuckt, wenn die Muskeln mit einem Metalle, die Nerven mit einem anderen Metalle und beide Metalle untereinander in Verbindung stehen.

Volta gab im Jahre 1794 die richtige Erklärung dieser Erscheinung; er bezeichnete als Ursache obiger Zuckung die durch die Berührung der beiden Metalle entstandene Elektricität.

II. Kapitel.

Wirkungen des galvanischen Stromes.

32. Wirkungen des galvanischen Stromes.

I. Wirkungen im Stromkreise.

1. Physiologische Wirkungen.
2. Chemische Wirkungen.
3. Wärmewirkungen.
4. Lichtwirkungen.

II. Wirkungen des galvanischen Stromes in die Ferne.

1. Magnetische Wirkungen.
2. Wirkungen der Bewegung des elektrischen Stromes.
3. Elektrodynamische Induktion.

I. Wirkungen des galvanischen Stromes im Stromkreise.

33. Physiologische Wirkungen. Unter den physiologischen Wirkungen des elektrischen Stromes versteht man die Einwirkung desselben auf Menschen, Thiere und Pflanzen (§ 24.)

Bringt man die Zunge zwischen einen blanken Zink- und einen blanken Kupferstreifen, so dass die Metallstreifen vor dem Munde in Berührung sind, so empfindet man einen sauren Geschmack, wenn das Kupfer oben auf der Zunge liegt, einen laugenhaften, wenn das Kupfer unten an der Zunge liegt.

Legt man einen Kupferstreifen an das rechte, einen Zinkstreifen an das linke Zahnfleisch der oberen Kinnlade und bringt dann die vorderen Enden der Metallstreifen mit einander in Berührung, so empfindet man vor den Augen einen vorübergehenden Lichtschimmer.

Das Schließen einer galvanischen Batterie von etwa 50 Elementen mit den angenässten Fingern verursacht in den Armen ein eigenthümliches Zucken, den sogenannten Schließungsschlag, das Öffnen des Stromkreises, durch das Entfernen der Hände von den beiden Endpolen, bewirkt ein schwächeres Zucken, den Öffnungsschlag.

34. Chemische Wirkungen. Wasser, verdünnte Säuren, Metalloxyde und Salzlösungen werden durch den Strom in ihre Bestandtheile, Elektrolyte zerlegt.

Die Grenzflächen der Polplatten heißen, nach Faraday, Elektroden. Die mit dem positiven Pole verbundene Elektrode heisst Anode, die mit dem negativen Pole verbundene Elektrode Kathode; die durch den Strom abgeschiedenen Stoffe nennt man Jonen und zwar den positiven Jon Anion, den negativen Jon Kation.

Die Apparate, in denen die Zersetzungen stattfinden, heißen Voltameter. Die Menge des abgeschiedenen Jon kann durch Wägen oder Messen ermittelt werden.

Die elektrochemischen Zerlegungen nennt man Elektrolysen.

Aus sämmtlichen Flüssigkeiten (Lösungen) scheidet sich während der Elektrolyse der Sauerstoff am +, der Wasserstoff und die Metalle am — Pole ab.

Bei der Elektrolyse werden am positiven Pole negative, am negativen Pole positive Massen frei. Es entsteht so zwischen diesen Massen ein Strom, welcher dem sie bildenden Strome entgegengesetzt gerichtet ist.

Die elektromotorische Kraft, welche der eingeschalteten Stromquelle entgegengesetzt gerichtet ist, nennt man die Polarisation der Elektroden. Den Strom der galvanischen Polorisation kann man an einem Messinstrumente beobachten, wenn man die Stromquelle abschaltet.

Eine ähnliche Erscheinung ist die sogenannte elektrische Endosmose. Trennt man z. B. in einem Gefässe, in welchem sich eine Kupfervitriollösung befindet, die letztere durch eine poröse Scheidewand und schickt Strom durch, so wird die Flüssigkeit in der Richtung des + Stromes fortgeführt, so dass die Flüssigkeit auf der Seite des negativen Poles ansteigt.

Die Wissenschaft, welche sich mit den chemischen Wirkungen des elektrischen Stromes befasst, heißt Elektrochemie.

In das Gebiet der Elektrochemie gehören:

1. Die Elemente und die Batterien. Zwei durch eine Flüssigkeit mit einander verbundene Metalle, Fig. 10, zeigen an ihren Enden Elektricität (§ 31) und stellen ein offenes Element dar; werden die freien (hervorstehenden) Enden miteinander vereinigt, so ist das Element geschlossen.

Mehrere mit einander verbundene Elemente nennt man eine Batterie. Elemente, deren elektromotorische Kraft längere Zeit gleich bleibt, heißen konstante Elemente; zu den letzteren zählen die Elemente von:

a) Daniell (1836) mit den wesentlichen Bestandtheilen: Zink in verdünnter Schwefelsäure, Diaphragma (poröser Thoncylinder) und Kupfer in Kupfervitriollösung.

Um große Wärmeentwicklung zu verhindern, gießt man die Säure zum Wasser.



Fig. 10.

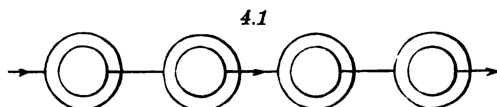


Fig. 11.

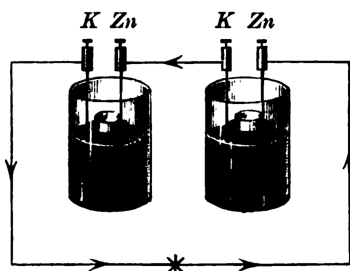


Fig. 12.

b) Meidinger (Callaud 1858, Meidinger 1859). Kupfer in Kupfervitriollösung und Zink in Bittersalzlösung. Die Lösungen stehen ohne Diaphragma übereinander.

c) Bunsen (1842). Zink in verdünnter Schwefelsäure, Diaphragma und Kohle in concentrirter Salpetersäure.

d) Grove (1839). Derselbe ersetzte in dem letztgenannten Elemente Kohle durch Platin.

e) Leclanché (1868). Zink in Salmiaklösung, Diaphragma und Gemisch von Braunstein und Kohle.

Die Schaltung der Elemente sei beispielsweise an 4 Elementen durchgeführt; sie kann sein:

1. Hintereinander-, Reihen- oder Serienschaltung (Schaltung auf Spannung), Fig. 11 u. 12.

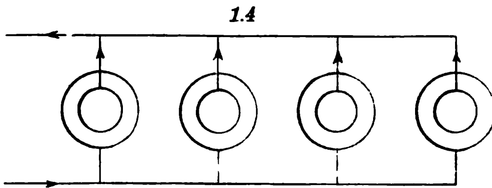


Fig. 13.

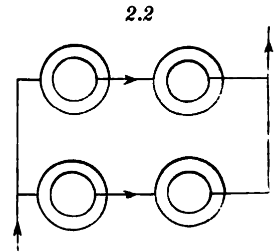


Fig. 14.

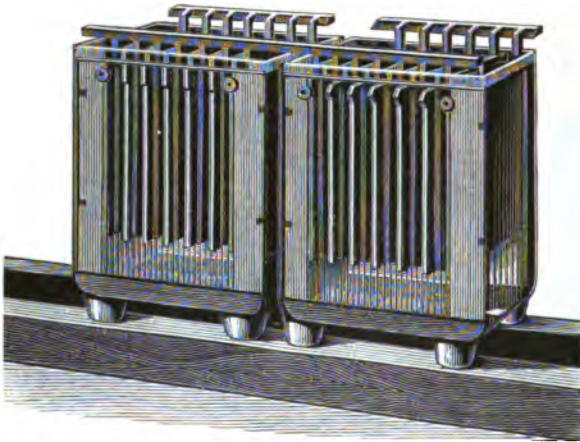


Fig. 15.

2. Nebeneinander-, Nebenschluss- Parallel-, oder Shuntschaltung (Schaltung auf Stromstärke), Fig. 13.
3. Hintereinander- und Nebeneinander- oder gemischte-Schaltung, Fig. 14.

Die Schaltungen können durch Drahtcombinationen (Pachytrope) gewechselt werden.

Diese Schaltungen finden nicht bloß bei den Elementen, sondern auf dem gesammten Gebiete der Elektricitätslehre Verwendung.

2. Sammler (Akkumulator oder Sekundärelemente), Fig. 15. Die Sammler haben den Zweck, Elektricität in sich anzusammeln und dieselbe zu beliebiger Zeit wieder abzugeben. Die in der Elektrotechnik gebräuchlichsten Sammler bestehen aus Bleiplatten, welche

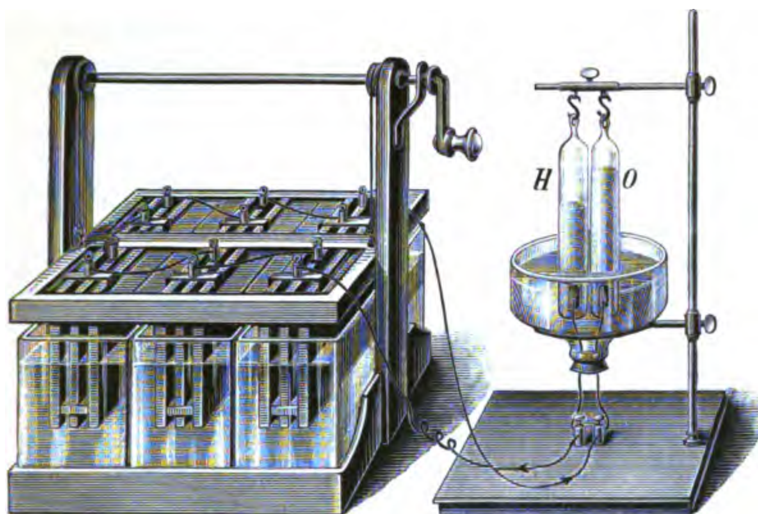


Fig. 16.

in verdünnter Schwefelsäure, von einander metallisch isolirt, angeordnet sind. Die geraden Platten werden zu einem, die ungeraden zu einem zweiten Pole vereinigt.

D a s e r s t e L a d e n u n d E n t l a d e n (F o r m i r e n) der Platten dauert sehr lange, wenn die Platten rein metallisch sind. Beim Laden der Sammler bildet sich auf den Platten Bleisuperoxyd. Man kann deshalb den Process des Formirens verkürzen, wenn man Mennige in die Bleiplatten (Bleigitter oder geriefte Platten) einstreicht, die sich durch die Elektrolyse bald in Bleisuperoxyd verwandelt.

Die Sammler beruhen wesentlich auf der Polarisation der Elektroden (§ 34, S. 16).

3. D i e W a s s e r z e r s e t z u n g. Schickt man den Strom einer galvanischen Batterie zu zwei in Wasser befindlichen Platinelektroden, Fig. 16, so steigen an diesen Gasblasen auf und zwar am positiven Pole Sauerstoff *O*, am negativen Wasserstoff *H*.

4. D a s V o l t a m e t e r (F a r a d a y, 1835), Fig. 17, besteht aus zwei metallischen Elektroden (Kupfer, Silber, Platin u. s. w.) *A* und *K*, welche in die zu zersetzende Flüssigkeit eingetaucht sind. Das Glasrohr *G* dient zum Ausströmen der Gase.

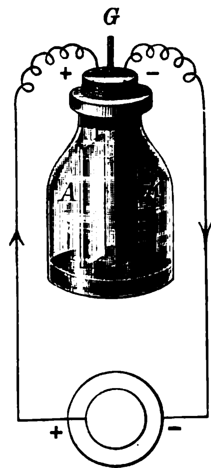


Fig. 17.

5. Die Galvanoplastik. Die Galvanoplastik ist die Kunst, Metalle aus ihren Lösungen vermittels des galvanischen Stromes an einer leitenden Kathode auszuscheiden und die Form der Elektrode nachzubilden, negativer Abdruck. Die Erhabenheiten erscheinen als Vertiefungen und umgekehrt. Wird der negative Abdruck als Kathode benützt, so erhält man den positiren Abdruck, welcher die Form der ersten Kathode besitzt.

6. Die Galvanostegie. Die Galvanostegie ist die Kunst, dicke Schichten eines Metalles auf leitenden Unterlagen auszuscheiden. Daher gehören: Das Vernickeln, Verkupfern, Versilbern u. s. w.

7. Die Galvanochromie. Die Galvanochromie oder galvanische Metallfärbung ist die Kunst, eine oberflächliche Färbung und Verschönerung von leitenden Unterlagen durch einen äußerst dünnen Metallniederschlag auf elektrolytischem Wege herzustellen.

8. Die Heliogravure. Die Heliogravure ist die Kunst, elektrolytische Abdrücke von Photographien zu erzeugen.

9. Die Reinmetallgewinnung (Elektrometallurgie.) Die Reinmetallgewinnung ist die Kunst, mittels der Elektrolyse Metalle in chemisch reinem Zustande zu gewinnen.

10. Weitere Gebiete der Elektrochemie. Das Färben, Bleichen, Gerben u. s. w. auf dem Wege der Elektrolyse.

11. Das Graviren der Metalle. Die + Elektrode wird während der Elektrolyse aufgelöst. Ueberzieht man gewisse Stellen der + Elektrode mit einer isolirenden Substanz z. B. mit Wachs, so bleiben diese Stellen erhalten; sie sind erhaben gegen ihre Umgebung. Erhabene Stellen erhält man demnach durch das Isoliren, tiefe Stellen dadurch, dass man die Umgebung isolirt.

35. Wärmewirkungen. Ein dünner Draht wird, wenn man durch denselben eine Batterie kurz schliesst, warm, glühend und schmilzt sogar, falls die Batterie die entsprechende Stromstärke besitzt.

Grove (1845) hat glühende Drähte in Glasballons behufs Vermeidung der „schlagenden Wetter" in Bergwerken zur Beleuchtung vorgeschlagen. Der Vorschlag Grove's war ein Vorbote unserer heutigen Glühlampen.

Childern (1815) führte vermittels des galvanischen Stromes Schmelzungen im Großen aus.

Roberts (1837) verwendete den galvanischen Strom zur Abgabe von Sprengschüssen (Elektrische Glühzündung); in der Chirurgie dienen glühende Drähte zum Entfernen von Auswüchsen am menschlichen Körper u. s. w.

Anwendungen der Wärmewirkungen in der Elektrotechnik: Elektrisches Glühlicht, elektrische Minen- und Torpedozündung, Heizung, Löthung, Schweißung und Schmelzen mittels des elektrischen Stromes.

36. Lichtwirkungen. Nicholson bemerkte (1800) beim Schließen und Oeffnen einer Batterie einen kleinen Funken. Humphrey Davy erzeugte (1821) die ersten größeren elektrischen Lichtbögen zwischen zwei Kohlenspitzen mit einer Batterie von 2000 Elementen.
Anwendungen der Lichtwirkungen in der Elektrotechnik: Elektrisches Bogenlicht, Minen- und Torpedozündung.

II. Wirkungen des galvanischen Stromes in die Ferne.

37. Magnetische Wirkungen.

1. Eine Magnetnadel wird durch den galvanischen Strom abgelenkt (Oersted, 1819); die Richtung der Ablenkung der Nadel ändert sich mit der Aufhängung der Letzteren, ober- oder unterhalb, dies- oder jenseits des Stromes und wird bestimmt durch die Ablenkungsregel von Ampère:

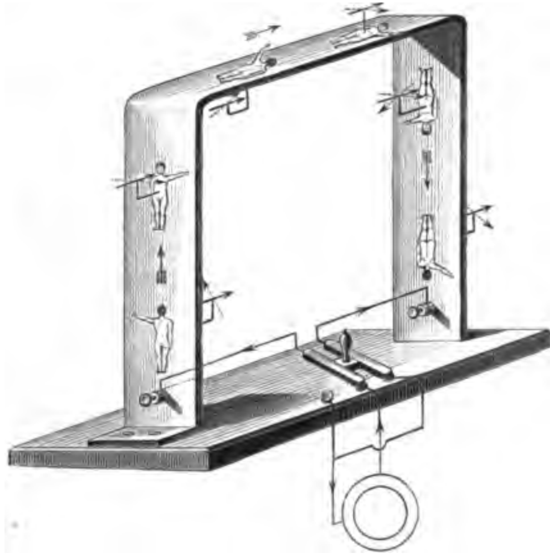


Fig. 18.

Denkt man sich, Fig. 18, eine menschliche Figur, welche die Magnetnadel ansieht, im Stromkreise so schwimmend, dass der Strom bei den Füßen ein und durch den Kopf austritt, dann wird der Nordpol der Magnetnadel in der Richtung der ausgestreckten linken Hand abgelenkt.

Ersetzt man den Ampère'schen Schwimmer durch die rechte Hand, so übergeht obige Regel in die Rechte-Handregel; dieselbe lautet demnach:

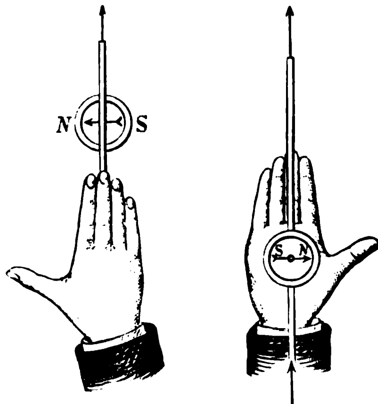


Fig. 19.

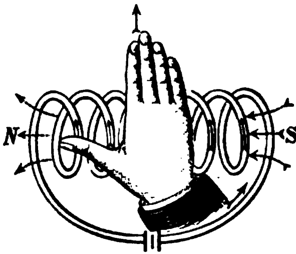


Fig. 20.

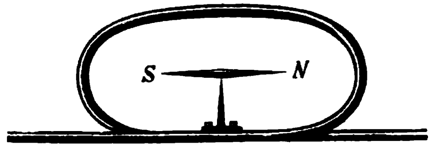
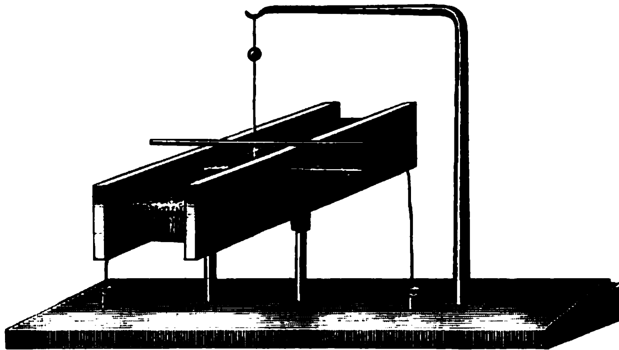


Fig. 21.


Fig. 22.

Denkt man sich, Fig. 19, die rechte Hand, so dass die Innenfläche derselben die Magnetnadel ansieht und der Strom bei den Fingerspitzen austritt, in den Strom hineingelegt, dann wird der Nordpol der Magnetnadel in der Richtung des ausgestreckten Daumens abgelenkt. Vor einem Nordpole *N*, Fig. 20, aus gesehen muss daher der Strom in Drahtwindungen in der entgegengesetzten, vor einem Südpole *S* in derselben Richtung der Uhrzeigerbewegung fließen.

2. Das Galvanometer, auch Multiplicator genannt (Schweigger, 1820), Fig. 21, zeigt eine Magnetnadel, umgeben von einer oder mehreren Drahtwindungen und dient dazu, das Dasein, die Richtung und die Stärke (Intensität) eines galvanischen Stromes zu bestimmen. Fig. 22 stellt den Multiplicator mit astatischer Nadel dar. Eine astatische Nadel besteht aus zwei, mit den entgegengesetzten Polen übereinander befestigten Magnetnadeln. Die Ablenkung des Nordpoles der einen Nadel vom Nordmagnetismus der Erde wird durch die Anziehung des darunter befindlichen Südpoles der zweiten Nadel vom

Nordmagnetismus der Erde aufgehoben. Der Erdmagnetismus hat demnach auf die Magnetnadel keinen Einfluss. Durch die in der letzten Figur getroffene Anordnung werden beide Nadeln vom Strome in gleichem Sinne beeinflusst und das Galvanometer wird empfindlicher.

3. Elektromagnet, Fig. 23, 24 und 25, nennt man einen Stab aus Eisen (Schmiede- oder Gusseisen), welcher mit umsponnenen, vom Strome durchflossenen, Metalldrähten bewickelt ist. Der Eisenstab kann gerade, Fig. 23 und 24, oder hufeisenförmig, Fig. 25, oder anders gebogen sein. In Fig. 25 stellt *A* den sogenannten Anker vor. Die Pole des Elektromagnetes bestimmt die Ampère'sche Ablenkungsregel. Mit dem Strome verschwindet der Magnetismus bis auf den sogenannten zurückbleibenden (remanenten) Magnetismus, der jedem Eisen selbst im Naturzustande eigen ist.

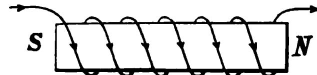


Fig. 23.

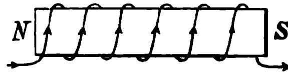


Fig. 24.

Nach A. von Waltenhofen ist der zurückbleibende Magnetismus größer, wenn der magnetisirende Strom langsam, kleiner, wenn der magnetisirende Strom plötzlich unterbrochen wird.



Fig. 25.

Die Drahtspiralen können in zwei verschiedenen Windungs- (Wickelungs-) Richtungen um den Eisenkern geführt sein. Je nach ihrer verschiedenen Windungsrichtung theilt man die Spiralen in rechtsgewundene (dextrorsale), Fig. 22, und in linksgewundene (sinstrorsale), Fig. 23. Die Wickelungsrichtung bestimme ich rasch nach einer oder der anderen der folgenden Regeln:

1. Eine Spirale ist rechts gewunden, wenn Anfang und Ende derselben, vor den Polen aus gesehen, in der Uhrzeigerbewegung verlaufen.

2. Eine Spirale ist rechts gewunden, wenn an der Stelle des Stromeintrittes ein Südpol entsteht.

Treffen diese Regeln nicht zu, dann ist die Spirale links gewunden.

Die Stärke des Magnetismus d. h. die ablenkende Wirkung, welche ein Elektromagnet auf eine Magnetnadel ausübt, geben folgende Gesetze an:

1. **Die doppelte, dreifache, vierfache, allgemein *n*-fache Stromstärke oder Windungszahl bedingt eine doppelte, dreifache, vierfache, *n*-fache Stärke des Elektromagnetes.**

2. **Nach A. von Waltenhofen ist die Stärke eines Elektromagnetes in Stabbündeln oder Röhren bei schwachen**

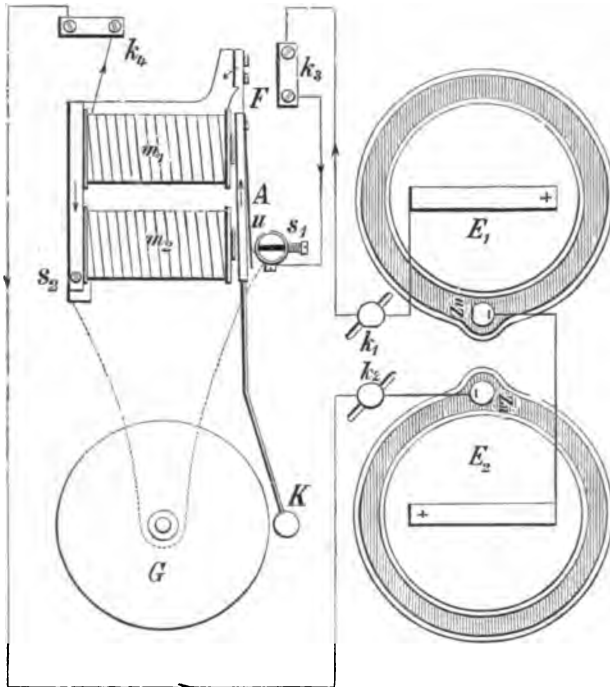


Fig. 26.

Strömen häufig gleich oder größer, bei starken Strömen immer kleiner, als in massiven Stäben von demselben Querschnitte.

4. **Das Läutewerk (Wecker, elektrische Klingel), Fig. 26,** besteht aus dem Elektromagnete m_1, m_2, dem eisernen Anker *A*, welcher mit der Metallkugel *K* und der Metallfeder *F* in leitender Verbindung steht, sowie der Glocke *G*. Die Elemente E_1 und E_2 setzen das Läutewerk in Thätigkeit. Der Strom fließt von den Elementen (+ Pol des Elementes E_1) zu den Klemmen k_1 und k_3, zur isolirten Schraube s_1, durch die Feder *F* und den Anker *A* in das Metallgestell des Apparates, von der Schraube s_2 in die Windungen des Elektromagnetes, zu

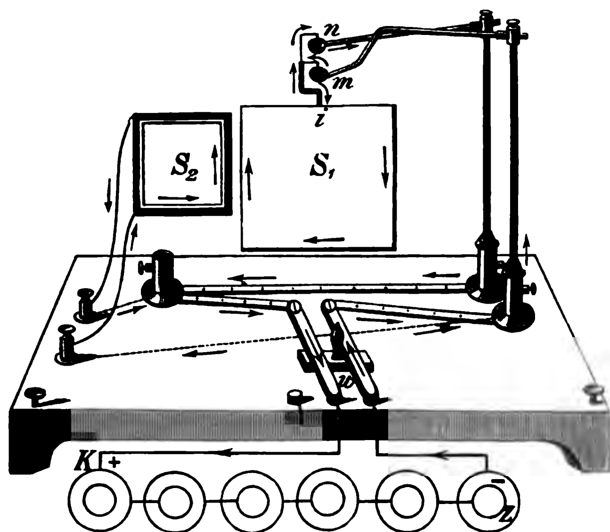


Fig. 27.

den Klemmen k_4 und k_2, zu den Elementen (negativer Pol des Elementes E_2) zurück. Die in der Figur wiedergegebenen Elemente stellen die obere Ansicht (Daraufsicht) von Leclanché-Elementen dar.

Der Strom magnetisirt den Elektromagnet, letzterer zieht den Anker A an, so dass der Strom bei u unterbrochen erscheint. Der Elektromagnet wird jetzt unmagnetisch, der Anker nimmt durch die Elasticität der Feder F seine ursprüngliche Stellung ein und schließt den Stromkreis. Durch die so entstehende hin- und hergehende Bewegung des Ankers A schlägt die mit demselben fest verbundene Kugel K in rascher Aufeinanderfolge an die Glocke G.

Der Haustelegraph hat wesentlich dieselbe Einrichtung. Bringt man an irgend einer Stelle des obigen Stromkreises, Fig. 26, einen Taster an, so kann man durch das „Drücken" desselben den Stromkreis schließen. Sobald der Stromkreis geschlossen ist, tritt das Läutewerk in Thätigkeit.

Anwendung der Elektromagnete in der Elektrotechnik: Dynamomaschinen und Motoren, Beleuchtung (Regulirung der Lichtbogenlänge der Bogenlampen u. s. w.), Telegraphie (Elektrische Klingel, Nadeltelegraph), Registrir- und Controlapparate, Signalwesen u. s. w.

38. Wirkungen der Bewegung des elektrischen Stromes oder Elektrodynamik.

1. Parallel und gleichgerichtete Ströme ziehen einander an, entgegengesetzt gerichtete Ströme stoßen einander ab.

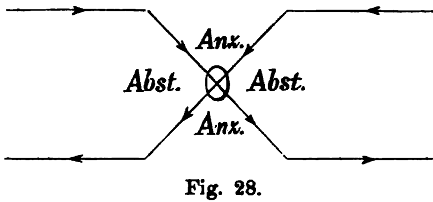


Fig. 28.

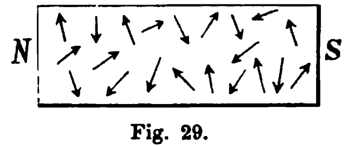


Fig. 29.

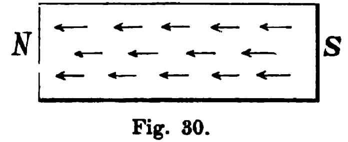


Fig. 30.

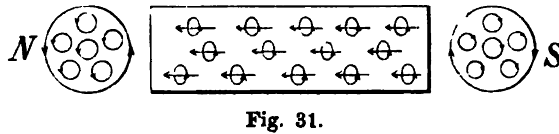


Fig. 31.

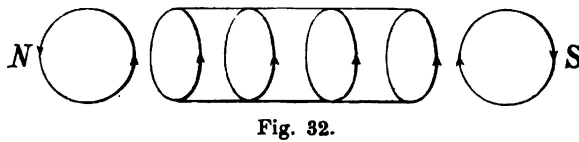


Fig. 32.

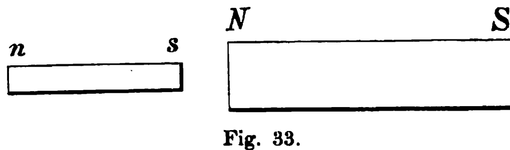


Fig. 33.

Die Richtigkeit dieses Satzes kann man experimentell mit dem in Fig. 27 dargestellten Gehänge nachweisen.

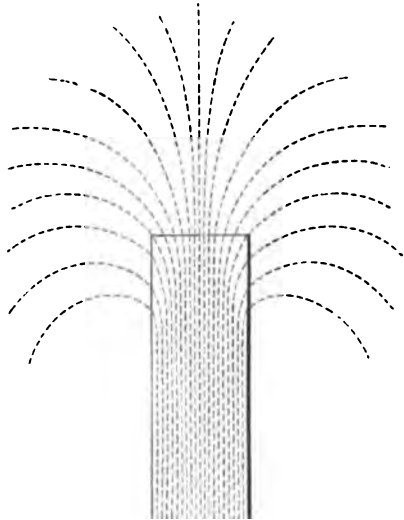
Eine Batterie *KZ* liefert den Strom für das, in den Quecksilbernäpfen *n* und *m*, leicht beweglich aufgehängte Aluminiumgehänge S_1 und für die Windungen S_2. Der Stromverlauf ist aus der Figur ersichtlich.

Trifft man die Anordnung so, wie es die Figur zeigt, dann stoßen die Windungen S_2 die Windung S_1 ab. Ein Stromwechsler *w* dient zum Wechseln der Stromrichtung.

2. Gekreuzte Ströme, Fig. 28, ziehen einander an, wenn sie entweder gleichzeitig gegen den Scheitel *O* eines

Winkels gerichtet sind oder beide von dem Scheitel *O* eines Winkels ausgehen. Geht ein Strom gegen den Scheitel eines Winkels, ein zweiter Strom vom Scheitel desselben Winkels, so stoßen sie einander ab.

Gekreuzte Ströme haben das Bestreben, sich so zu stellen, dass sie parallel laufen und nach derselben Richtung fließen.



3. **Wechselwirkung zwischen elektrischen Strömen, gewöhnlichen Magneten und dem Erdmagnetismus.** Nach der Annahme über das Wesen des Magnetismus besteht jedes Eisen aus Elementarmagneten (kleinsten Magneten), die im Naturzustande, Fig. 29, die verschiedensten, im magnetischen Zustande, Fig. 30, dieselbe Richtung haben.

Magnetisiren heißt demnach die Elementarmagnete gleichrichten.

Es ergibt sich dann nach der Seite hin, nach welcher alle Nordpole gerichtet sind, ein gemeinsamer Nordpol, nach der Seite hin, nach welcher alle Südpole gerichtet sind, ein gemeinsamer Südpol.

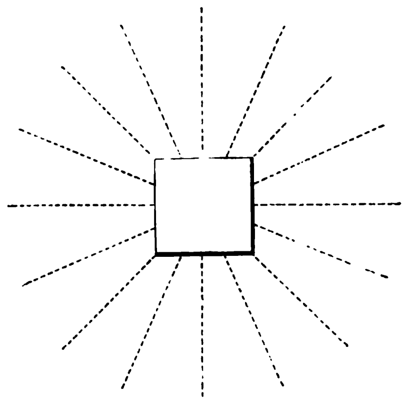


Fig. 34.

Nach Ampère ist jedes kleinste Theilchen (Molekül) eines magnetischen Körpers von einem galvanischen Kreisstrom umflossen, Fig. 31; alle diese Molekularströme setzen sich zu einem resultirenden Strome zusammen, welcher je einen Querschnitt des Magnetes in der Richtung der Achse spiralförmig umkreist, Fig. 32.

Die Richtung des Stromes bestimmt die Ampère'sche Schwimmregel (§ 37). Denkt man sich die rechte Hand so liegend, dass die Innenfläche den Magnet ansieht und mit dem ausgestreckten Daumen nach

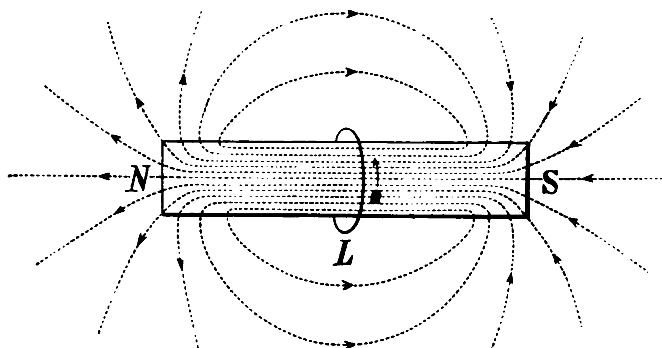


Fig. 35.

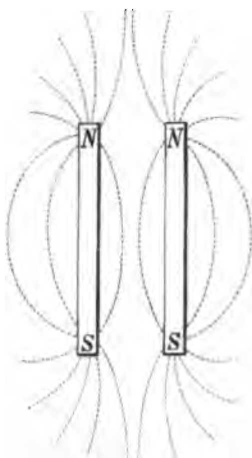


Fig. 36.

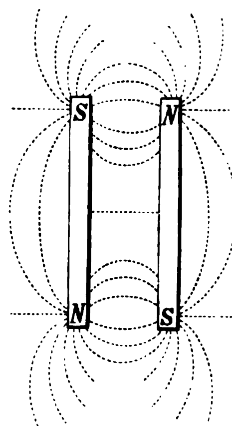


Fig. 37.

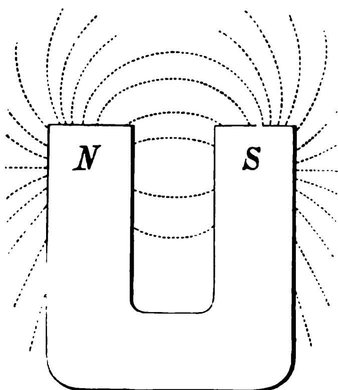


Fig. 38.

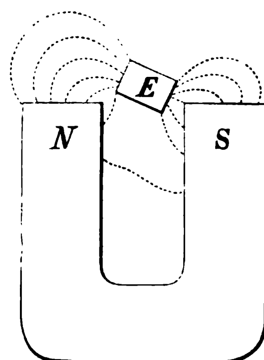


Fig. 39.

dem Nordpole zeigt, so müssen sowohl die Molekularströme, als auch der resultirende Strom bei dem Handgelenke ein-, bei den Fingerspitzen austreten.

Unmagnetisches Eisen wird von beiden Polen eines Magnetes angezogen. Bringt man einen Stab aus weichem Eisen *n s*, Fig. 33, in die Nähe eines Magnetes *NS*, so wird derselbe durch Fernwirkung (Influenz) magnetisch. Das dem Nordpole *N* zugewendete Ende des Stabes *n s* wird süd-, das abgewendete Ende nordmagnetisch. Da bekanntlich gleichnamige Magnetismen einander abstoßen, ungleichnamige dagegen einander anziehen, muss zwischen *N* und *s* Anziehung stattfinden. Infolge dieser Fernwirkung des Magnetismus zieht ein Magnetpol, Fig. 34, Eisenfeilspäne an.

Bestreut man den Pol mit Eisenfeile, so ordnet sich dieselbe, sowie es die Figur wiedergibt, an. Von dem Pole aus gehen die magnetischen Linien, nach Faraday „Kraftlinien" genannt, nach allen Richtungen des Raumes aus. Eine frei aufgehängte Magnetnadel stellt sich in die Richtung der Kraftlinien ein.

Den Raum, innerhalb dessen ein magnetischer Pol wirksam ist, nennt man sein magnetisches Feld.

Fig. 35 stellt das Bild der Kraftlinien eines Magnetstabes *N S* dar. Der Verlauf der Kraftlinien lässt sich wieder durch Eisenfeilspäne oder durch eine frei aufgehängte Magnetnadel verfolgen. Die Kraftlinien eines geraden Magnetstabes, Fig. 35, gehen außerhalb desselben zum Theile vom Nordpole zum Südpole über. Die Luft setzt den Kraftlinien einen sehr großen Widerstand entgegen. Nicht sämmtliche Kraftlinien gehen außerhalb des Stabes vom Nordpole zum Südpole über, ein Theil derselben geht durch Streuung in der Luft zwischen den Polen verloren. Fig. 36 und 37, stellen die Gestaltung des magnetischen Feldes zweier nebeneinander befindlicher Magnetstäbe dar. Aus Fig. 36 ist ersichtlich, dass sich die Kraftlinien gleicher Pole abstoßen, aus Fig. 37 dagegen geht die Anziehung der Krattlinien entgegengesetzter Pole hervor. Faraday hat folgende Regeln aufgestellt:

1. Jede Kraftlinie sucht den kürzesten Weg zurückzulegen.

2. Gleichgerichtete Kraftlinien stoßen einander ab, ungleichgerichtete dagegen ziehen einander an und suchen einander zu durchdringen. Aus diesen beiden Regeln folgen die in den Fig. 36 und 37 eingezeichneten, Verläufe der Kraftlinien des magnetischen Feldes zweier Magnetstäbe. Nach der ersten Regel von Faraday gehen die Kraftlinien, Fig. 37, vom Nord- zum Südpole in geraden Linien über; dieser Verlauf der Kraftlinien wird jedoch durch die 2. Regel von Faraday, laut welcher

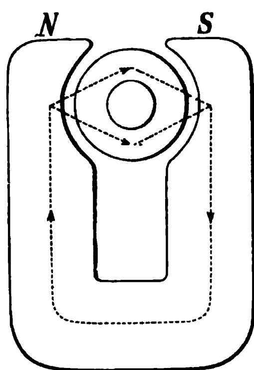


Fig. 40.

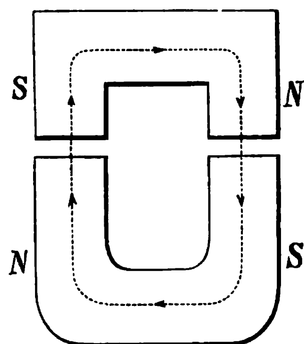


Fig. 41.

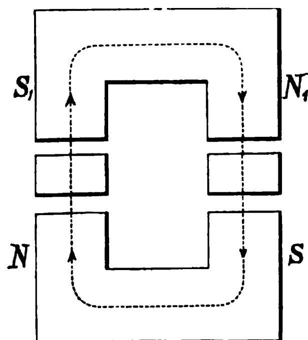


Fig. 42.

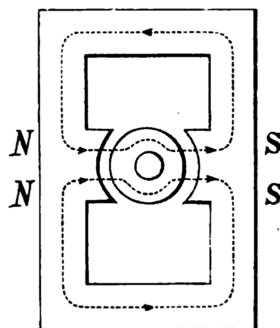


Fig. 43.

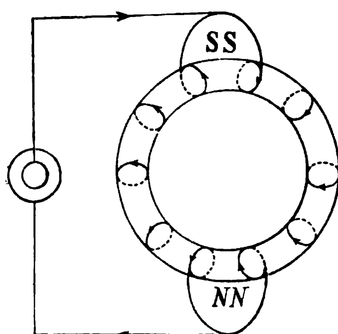


Fig. 44.

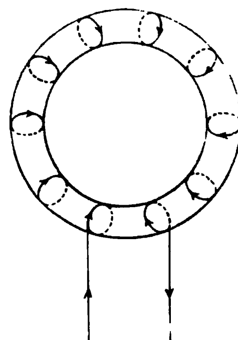


Fig. 45.

diese gleichgerichteten Kraftlinien einander abstoßen und so die Lufträume zwischen den Polspulen bogenförmig überbrücken, theilweise verhindert.

Fig. 38 versinnlicht das Bild der Kraftlinien zwischen den Polen eines Hufeisenmagnetes.

Befindet sich ein Stück Eisen *E*, Fig. 39, in einem magnetischen Felde, so wird dasselbe die meisten Kraftlinien in sich aufnehmen und so das magnetische Feld in der durch die Figur angedeuteten Weise gestalten.

Weiches Eisen ist der beste Leiter des Magnetismus. Ein in dem magnetischen Felde zwischen den Polen *N* und *S*, Fig. 40, befindlicher Eisenring wird, ähnlich wie das Eisenstück *E*, Fig. 39, sämmtliche Kraftlinien bis auf jene, welche durch Streuung verloren gehen, von Pol zu Pol leiten.

In Fig. 41 ist der Verlauf der Kraftlinien eines Hufeisenmagnetes durch das Eisenstück (Anker) *NS* wiedergegeben.

Ein Bild des Verlaufes der Kraftlinien zweier Hufeisenmagnete *NS* und $N_1 S_1$ zwischen welchen zwei Eisenkerne angebracht sind, stellt Fig. 42 vor.

Fig. 43 veranschaulicht den Verlauf der Kraftlinien eines doppelten Hufeisenmagnetes, zwischen dessen Polen *NN* und *SS* ein Eisenring angeordnet ist.

Gleichnamige doppelte Pole bezeichnet man als Folgepole.

Ein eiserner Ring, welcher, sowie es Fig. 44 darstellt, vom Strome umflossen wird, erhält bei *SS* einen doppelten Südpol, bei *NN* einen doppelten Nordpol. Diese Magnetisirungsverhältnisse zeigen die Ringe der elektrischen Maschinen und Motoren.

Ein Ring nimmt keine Pole an, wenn derselbe, in der durch Fig. 45 angedeuteten Art, vom Strome umflossen wird. Diese Anordnung gibt einen sogenannten pollosen Ring wieder, wie solche bei den meisten Transformatoren Verwendung finden.

Während in dem letzteren Ringe sämmtliche Kraftlinien im Eisen in der Richtung der Windungen verlaufen, findet bei der in Fig. 46 skizzirten Anordnung zwischen Wickelung und Eisenring Streuung statt. Hier bilden sich bei *N* ein Nordpol, bei *S* ein Südpol und alle zwischen diesen Polen möglichen Verbindungen werden von Kraftlinien durchsetzt. Die meisten Kraftlinien verlaufen in dem geringeren Widerstande des Eisens; eine kleine Anzahl jedoch findet ihren Weg durch die Luft und geht somit durch Streuung verloren.

Ähnlich wie Magnete erzeugen Ströme magnetische Felder. Schaltet man, Fig 47, in den Stromkreis einer Stromquelle einen Leiter ein, so zieht derselbe, ähnlich wie ein Magnet, Eisenfeilspäne an.

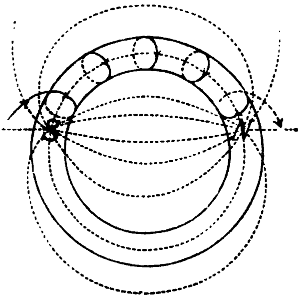


Fig. 46.

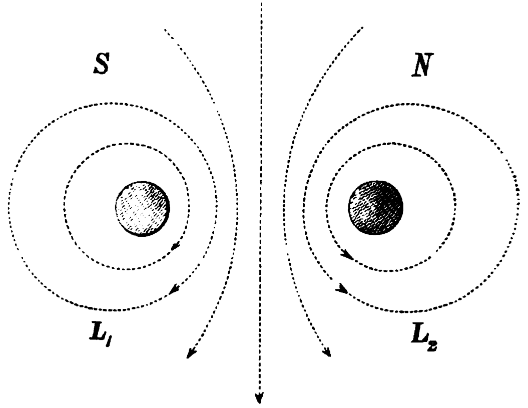


Fig. 50.

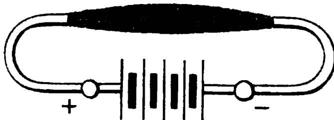
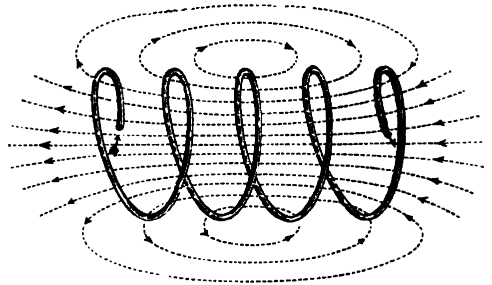
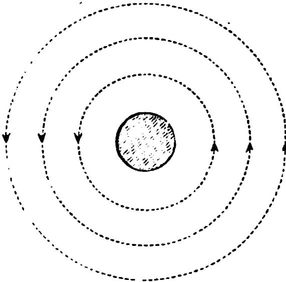


Fig. 47.


Fig. 51.


Fig. 48.

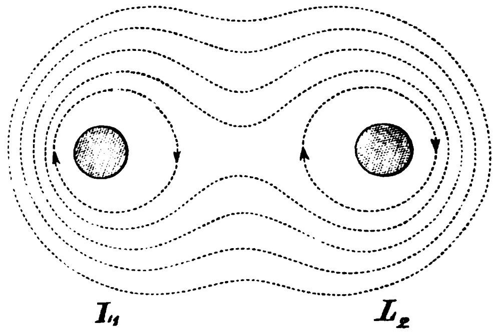
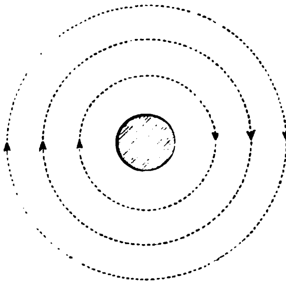


Fig. 52.


Fig. 49.

Die Kraftlinien eines geradlinig verlaufenden Stromes haben die in den Figuren 48 und 49 angegebene Richtung und lassen sich, sowie jene der Magnete, durch Eisenfeilspäne oder durch eine Magnetnadel nachweisen. Die zwei schraffirten Kreise in den Fig. 48 und 49 stellen Schnitte durch einen geradlinigen Leiter dar. In Fig. 48 tritt der Strom aus der Zeichnungsebene heraus, in Fig. 49 hat er die entgegengesetzte Richtung.

Die 2 schraffirten Kreise in Fig. 50 versinnlichten den Schnitt durch einen kreisförmig geschlossenen Leiter. Bei *S* tritt der Strom in die Zeichnungsebene, bei *N* aus derselben. Zwischen den Leiterschnitten drängen sich die Kraftlinien, da sie gleichgerichtet sind, gegenseitig an den Leiter.

Das magnetische Feld eines Solenoides charakterisirt das in Fig. 51 wiedergegebene Schema. Diese Kraftlinien haben einen ähnlichen Verlauf wie jene eines Magnetstabes (Fig. 35).

L_1 und L_2, Fig. 52, deuten zwei Schnitte zweier nebeneinander verlaufender Ströme oder zweier Theile eines und desselben Stromes an. Nach Früherem ziehen parallele und gleichgerichtete Ströme einander an. Eine ebensolche Wirkung findet zwischen den Magnetismen derselben statt. Da die Richtung der Kraftlinien, Fig. 52, der beiden Ströme dieselbe ist, müssen die zwischen den Leitern L_1 und L_2 gelegenen Kraftlinien die entgegengesetzte Richtung haben und einander anziehen.

Weiters stoßen nach Früherem parallele und entgegengesetzt gerichtete Ströme einander ab. Die beiden Ströme in L_1 und L_2, Fig. 50, erzeugen entgegengesetzt gerichtete Kraftlinien, so dass die zwischen den Leitern L_1 und L_2 liegenden Kraftlinien gleiche Richtung haben und einander abstoßen.

Die wichtigsten Punkte des ähnlichen Verhaltens zwischen Strömen und Magneten sind demnach:

1. Magnete und Ströme senden magnetische Kraftlinien aus, deren Verlauf durch Eisenfeilspäne leicht nachweisbar ist.

2. Vor einem magnetischen oder elektrischen Nordpole aus gesehen haben die Ampère'schen Molekularströme, beziehungsweise die elektrischen Ströme, die entgegengesetzte Richtung der Uhrzeigerbewegung, vor einem Südpole aus gesehen die Richtung der Uhrzeigerbewegung.

3. Ein von einem Strome durchflossener Draht zieht, ähnlich wie ein Magnet, Eisenfeilspäne an.

4. Ein von einem Strome durchflossenes Solenoid stellt sich, so wie eine Magnetnadel, in den magnetischen Meridian der Erde ein.

5. Ströme zeigen ein ähnliches Verhalten gegen einander wie Magnete; die Bilder der Kraftlinien nebeneinander befindlicher Stromspiralen gestalten sich ähnlich, wie jene ebenso angeordneter Magnete.

6. Parallel und gleichgerichtete Ströme ziehen einander an. Im Zusammenhange mit diesem Satze steht die Anziehung ungleichnamiger Magnetismen, beziehungsweise die Anziehung ungleichgerichteter Kraftlinien.

7. Parallel und gleichgerichtete Ströme stoßen einander ab. Dieser Satz steht im Zusammenhange mit dem Satze, dass gleichnamige Magnetismen, beziehungsweise gleichgerichtete Kraftlinien einander abstoßen.

Da die Erde magnetisch ist, muss dieselbe in der Richtung von Ost nach West von elektrischen Strömen umflossen sein.

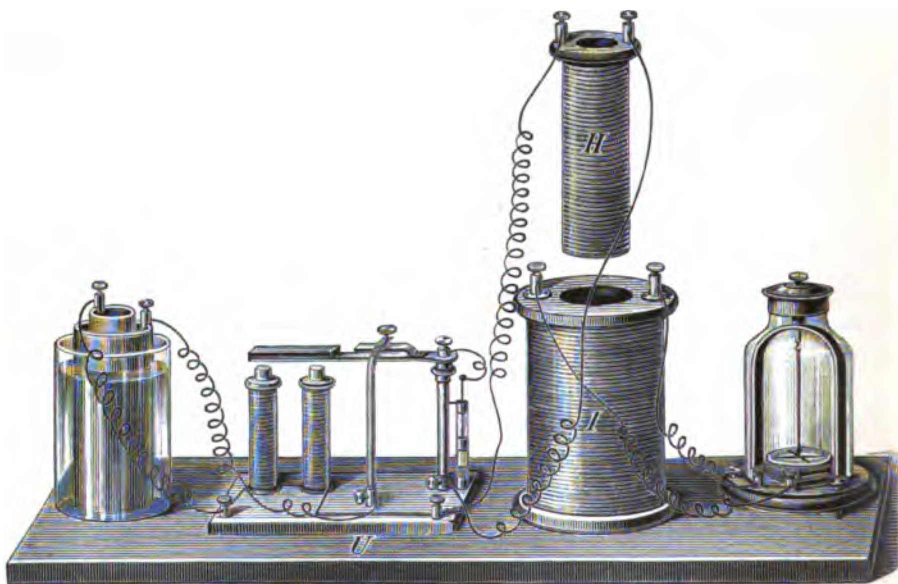


Fig. 53.

39. Elektrodynamische Induktion.

a) Strom- oder Voltainduktion.

Gegenseitige Induktion. Jeder elektrische Strom z. B. der Strom im seidenumsponnenen Drahte der Hauptspule *H*, Fig. 53, erregt in dem Augenblicke, in welchem er geschlossen, geöffnet, gestärkt, geschwächt, bewegt oder seine Richtung gewechselt wird, in der Induktionsspule *J* durch gegenseitige Induktion Ströme, die sogenannten Neben- oder Induktionsströme. *U* in Fig. 53 stellt einen selbstthätigen Stromunterbrecher und Schließer (Neef'schen Hammer) vor, welcher wesentlich dieselbe Einrichtung wie das Läutewerk (§ 37, Fig. 26) besitzt.

Gesetze über die Richtung des durch den Hauptstrom in *H* erzeugten Induktionsstromes in *J*:

1. Das Schließen, Stärken des Stromes in *H*, die Bewegung von *H* gegen *J*, *J* gegen *H* oder die gleichzeitige Bewegung von *H* gegen *J* und *J* gegen *H* erzeugen in *J* Induktionsströme von der Richtung des Hauptstromes in *H*.

2. Das Öffnen, Schwächen des Stromes in *H*, die Bewegung von *H* von *J* oder *J* von H oder die gleichzeitige Bewegung von *H* von *J* und *J* von *H* und der Richtungswechsel des Stromes (Wechselstrom) in *H* erzeugen in *J* Induktionsströme von der entgegengesetzten Richtung des Hauptstromes in *H*. Durch eine rasche Aufeinanderfolge des Schließens und Öffnens u. s. w. des Hauptstromes erhält man in *J* Induktionsströme von wechselnder Richtung, Wechselströme.

Selbinduktion. Auch in der Hauptspule *H*, Fig. 53, entstehen beim Auftreten, Verschwinden, Stärken, Schwächen, der Bewegung oder dem Richtungswechsel des Stromes in *H* durch Selbstinduktion Ströme, welche den Schließungsschlag schwächen und den Trennungsschlag verstärken, die sogenannten Gegen- oder Extraströme.

Jeder Induktionsstrom dauert nur einen Augenblick.

Schließungsextraströme sind dem Haupt- oder primären Strome entgegengesetzt, Öffnungsextraströme gleich-gerichtet.

Die Selbstinduktion hemmt demnach Stromänderungen, verlangsamt das Anwachsen und Abfallen des Stromes. In der Telegraphie z. B. schwächen die Schließungextraströme den Hauptstrom und verzögern das rasche Entstehen des zum Anzuge erforderlichen Magnetismus, also den Beginn des telegraphischen Zeichens, dagegen verzögern die Öffnungsextraströme das Verschwinden des hervorgerufenen Magnetismus und verlängern so das gegebene Zeichen.

Wo Ströme auftreten oder verschwinden, stärker, schwächer werden, ihre Richtung wechseln, wo Ströme oder Magnete oder Ströme und Magnete gegeneinander bewegt werden, entsteht eine elektromotorische Kraft der gegenseitigen oder Selbstinduktion im benachbarten und im eigenen Leiter, welche den inducirten Strom beeinflussen.

Es ist demnach die Ursache der Elektricitätsbewegung eines durch gegenseitige oder Selbstinduktion erzeugten Stromes, sowie die Ursache jeder Elektricitätsbewegung überhaupt eine elektromotorische Kraft.

b) Induktion durch Magnete. (Magneto- und Elektromagnetoinduktion). Ersetzt man in Fig. 53 die Hauptspule *H* durch

ein Stück weiches Eisen[1]), einen Stahl- oder Elektromagnet *M*, Fig. 54, so werden in der Induktionsspule *J* ebenfalls Induktionsströme erzeugt. Während früher, Fig. 53, durch einen Strom ein Strom inducirt wurde, inducirt jetzt ein Magnet einen Strom.

Für die Richtung der Induktionsströme gelten hier dieselben Gesetze, wie bei der Strominduktion, man braucht nur statt den oben angegebenen Ursachen der Stromerzeugung die den Richtungen der Ströme entsprechenden Richtungen der Molekularströme des Magnetes einzuführen.



Fig. 54.

Die beiden oben über die Richtung der Induktionsströme angegebenen Gesetze lauten dann, mit Bezug auf Fig. 54, für die Magnetoinduktion folgend:

1. Das Magnetischwerden, Stärken des Magnetismus in *M*, die Bewegung von *M* gegen *J* oder *J* gegen *M* oder die gleichzeitige Bewegung von *M* gegen *J* und *J* gegen *M*, erzeugen in *J* Induktionsströme von der Richtung der Molekularströme in *M*.

2. Das Unmagnetischwerden, Schwächen des Magnetismus in *M*, die Bewegung von *M* von *J* oder *J* von *M* oder die gleichzeitige Bewegung von *M* von *J* und *J* von *M* und der Polwechsel des Magnetismus in *M*, erzeugen in *J* Inductionsströme von der entgegengesetzten Richtung der Molekularströme in *M*.

Dieselben Gesetze gelten ohne weiters für die Elektromagnetoinduktion. Für letztere Induktion gelten schließlich auch die Gesetze der Strominduktion, da ja der Elektromagnet ebenfalls eine Stromspule besitzt, welche denselben Verhältnissen unterworfen wird, wie die Hauptspule bei der Strominduktion. Der Elektromagnetismus wird durch einen Strom erregt. Zwischen Strom- und Elektromagnetoinduktion besteht nur

---

[1]) Jedes weiche Eisen hat einen, wenn auch ganz geringen, Magnetismus.

der Unterschied, dass sich bei der letzteren in der Stromspule ein Eisenkern befindet, welcher die Wirkung der Spule verstärkt.

c) Das Gesetz von Lenz.[1]) Obige Richtungen der durch die Bewegung von Magneten gegen eine Induktionsspule (Drahtwindungen) inducirten Ströme lassen sich weiters nach dem Gesetze von Lenz, welches folgendendermaßen ausgesprochen werden kann, im Vorhinein bestimmen:

Bewegt man einen Magnet gegen Drahtwindungen, Fig. 55, so entsteht in denselben ein Strom von einer solchen Richtung, dass zwischen ihm und dem erregenden Strome Abstoßung stattfindet (§ 38).

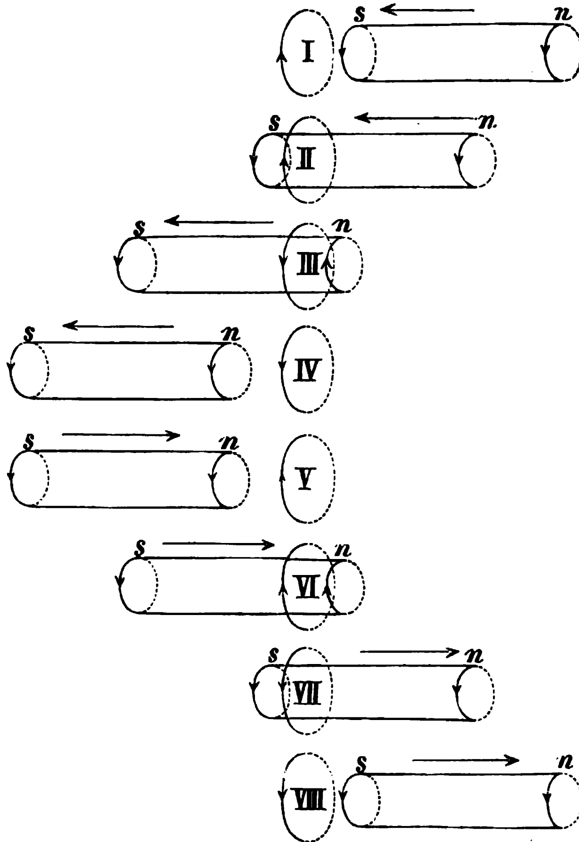


Fig. 55.

In Fig. 55 zeigen die über den Magneten gezeichneten Pfeile die Bewegungsrichtung der Magnete an. Schiebt man einen Pol des Magnetes *n s* in die Windung z. B. in der Stellung I, so muss zwischen ihm und dem in der Spirale inducirten Strome Abstoßung stattfinden. Diese findet (§ 38) dann statt, wenn die Ströme im Südpole *s* und in der Windung I die entgegengesetzte Richtung haben. Hat man den Magnet

[1]) Das Lenz'sche Gesetz wird am einfachsten mittelst des Apparates von Dr. von Waltenhofen nachgewiesen. Siehe Wiedem. Ann. 19, Seite 928, 1883; Centralblatt für Elektrotechnik 5, Seite 441, 1883; Zeitschrift für Elektrotechnik 1, Seite 314, 1883.

bis in die Mitte der Windung hineingeschoben, so tritt Stromumkehr ein. Dann entfernt sich der Pol von der Windung und Pol und Windung ziehen einander an.

In den Stellungen I und II wird in die Windung ein Südpol hineingeschoben (Abstoßung).

In den Stellungen III und IV wird aus der Windung ein Nordpol herausgezogen (Anziehung).

In den Stellungen V und VI wird in die Windung ein Nordpol hineingeschoben (Abstoßung).

In den Stellungen VII und VIII wird aus der Windung ein Südpol herausgezogen (Anziehung).

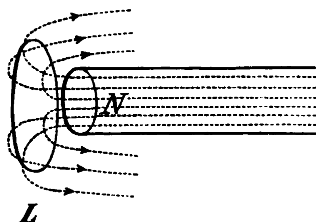


Fig. 56.

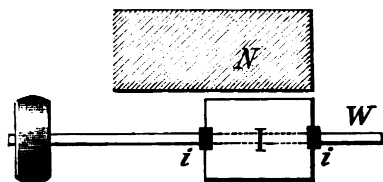


Fig. 57.

d) Gesetz von Maxwell. Bringt man einen von einem Strome durchflossen Stromleiter *L*, Fig. 56, in ein magnetisches Feld, so wird er jene Lage einzunehmen streben, bei welcher er die größtmögliche Anzahl der Kraftlinien umschließt. Der Leiter *L* wird sich deshalb so einstellen, wie es Fig. 35, Seite 28 anzeigt. In dieser Stellung umschließt er

1. die größte Anzahl der Kraftlinien und steht
2. so, dass die durch den Strom und das magnetische Feld erzeugten Kraftlinien gleichgerichtet sind.

Anwendung der Induktion durch Magnete: Magnet- und dynamoelektrische Maschinen und Motoren, Funkeninduktor von Ruhmkorff, Transformator und Telephon.

e) Magnetelektrische Maschine. Anstatt den Magnetpol gegen die Induktionsspule zu bewegen, Fig. 54, kann man eine Induktionsspule oder eine oder mehrere Windungen), vor einem Magnetpole rotiren lassen, Fig. 57.

Ist die Windung *J* bei *i i* isolirt auf der Welle *W* befestigt und lässt man die Welle rotiren, so wird in der Windung *J* ein elektrischer Strom erzeugt. Diese Anordnung stellt im Wesen eine einpolige magnet-

elektrische Maschine dar. Die Wirkung wird verstärkt, wenn man dem Nordpole *N* gegenüber einen Südpol *S*, Fig. 58, anbringt; dann übergeht die einpolige magnetelektrische Maschine in die zweipolige.

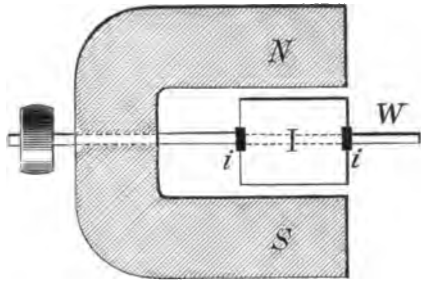


Fig. 58.

f) Dynamoelektrische Maschine. Denkt man sich anstatt des Stahlmagnetes, Fig. 58, einen Elektromagnet *A B*, Fig. 59, angewendet, so erhält man die zweipolige dynamoelektrische Maschine. Rotirt die Windung *J* zwischen den Polen *N* und *S* des Elektromagnetes *A B*, so wird in derselben Strom inducirt; diese Anordnung entspricht wesentlich jener der Dynamomaschine.

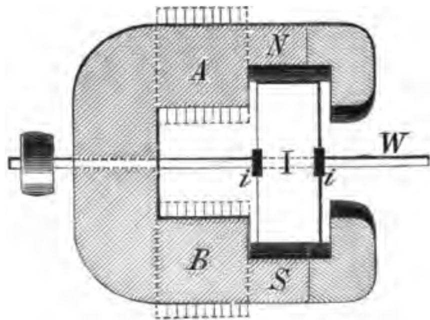


Fig. 59.

Schickt man umgekehrt in die Windung *J* Strom, so lauft dieselbe an, gibt Kraft und stellt im Wesen einen Elektromotor dar.

g) Der Funkeninduktor von Ruhmkorff. Der in Fig. 53 dargestellte Induktionsapparat mit dem selbstthätigen Stromunterbrecher (Neef'schen Hammer) stellt, wenn die Hauptspule *H* mit einem Eisenkern versehen ist, den sogenannten Funkeninduktor von Ruhmkorff (1851) dar. Die Wickelung der Hauptspule besteht aus wenig Windungen eines dicken Drahtes, die der Induktionsspule aus vielen Windungen eines dünnen Drahtes.

Anwendung: Erzeugung von Lichterscheinungen, Minen- und Torpedozündung, Elektrisiren des menschlichen Körpers (Elektromedicin) u. s. w.

h) Der Transformator. Eine Umkehrung des Principes des Funken-

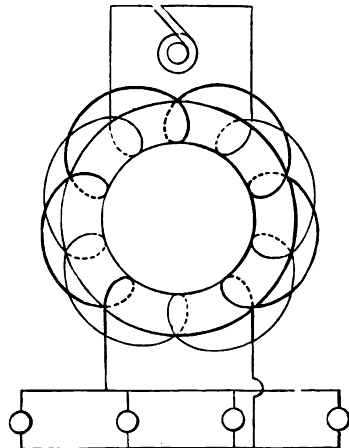


Fig. 60.

induktors stellt der Transformator dar; der Eisenkern desselben ist in der Regel kreisförmig geschlossen, Fig. 60.

Im Gegensatze zum Funkeninduktor besteht hier die Hauptspule aus vielen Windungen eines dünnen Drahtes und die Induktionsspule aus wenig Windungen eines dicken Drahtes. Der Transformator mit kreisförmig geschlossenem Eisenkerne geht aus dem Funkeninduktor dadurch hervor, dass man dessen Eisenkern kreisförmig schließt.

Anwendung des Transformators in der Elektrotechnik: Beleuchtung und Kraftübertragung mittels Wechselstrom.

i) Das Telephon, Fig. 61, besteht aus einem Stahlmagnete $N_1 S_1$ auf der Station I, welcher mit einer Spule umgeben ist. Vor dem Magnete befindet sich ein weiches, dünnes Eisenblech E_1. — Durch magnetische Influenz [1]) wird in dem Eisenbleche E_1 Magnetismus erzeugt.

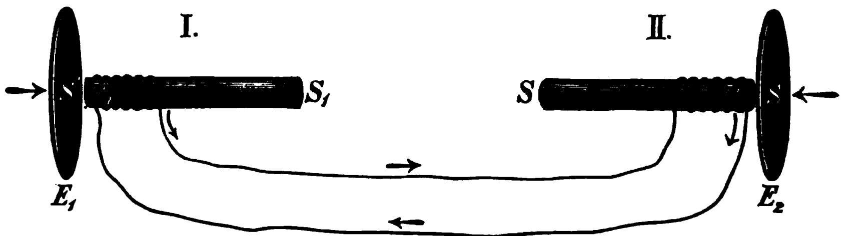


Fig. 61.

Spricht man nun gegen das Eisenblech E_1 auf der Station I, so wird dasselbe bewegt und in der Spirale über $N_1 S_1$ ein Strom inducirt, welcher durch den Verbindungsdraht nach der Station II fließt, so zwar, dass er den Pol N_2 verstärkt. Dadurch wird das Eisenblech E_2 auf der Station II angezogen. Das Telephon überträgt demnach die Bewegungen des Eisenbleches von einer Station auf eine zweite. Die Schwingungen des Eisenbleches E_2 theilen sich der Luft mit und so hört man das auf der Station I Gesprochene.

j) Induktion in körperlichen Leitern. Ebenso wie in geschlossenen Leitern entstehen in ausgedehnten Metallmassen, Scheiben oder Kugeln durch Induktion von in der Nähe befindlichen Strömen oder Magneten Induktionsströme.

k) Induktion höherer Ordnung. Die Induktionsströme wirken selbst wieder inducirend auf geschlossene Leiter. J. Henry nennt einen durch den Haupt- oder primären Strom inducirten Strom, einen

---

[1]) Jedes weiche Eisen besitzt auch von Natur aus Magnetismus.

Strom zweiter Ordnung; die durch letztere erregten Ströme, Ströme dritter Ordnung. Auch Ströme 4. und 5. Ordnung wurden noch, durch ihre physiologischen Wirkungen, nachgewiesen.

40. Die Thermoelektricität (Seebeck, 1822) wird durch Erwärmung der Löthstellen zweier, zu einer geschlossenen Figur, Fig. 62, vereinigten, Metalle erzeugt.

Eine Verbindung von Thermoelementen nennt man Thermosäule. Kräftige Thermosäulen stammen von Clamond und Noe.[1])

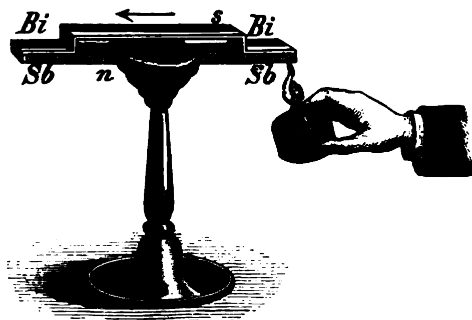


Fig. 62.

41. Thierische Elektricität. Der Lebensprocess der Thiere bedingt Elektricitätserregung.

Die umfangreichsten Forschungen über diesen Gegenstand verdanken wir Du Bois Reymond (1848—1860). Der Reihenfolge nach wurden bekannt: Die elektrischen Schläge des Zitterrochen, der Zitterwelse (1751) und Zitteraale (1762), der Froschstrom (Galvani, 1794). Alexander von Humboldt schildert uns in seinen unsterblichen Werken die, selbst gegen Pferde wirksamen, Schläge der Zitteraale in den Kämpfen der Zitteraale und Pferde in den brasilianischen Seen.

---

[1]) Dr. A. von Waltenhofen „Dingler's polytechn. Journal 1871, Bd. 200, Seiten 10 ff. 1872, Bd. 205, Seiten 33 ff. 1877 Bd. 224 Seiten 267 ff.

Wilhelm Peukert „Zeitschrift für Elektrotechnik“ 1884.

Gérard (Peukert und Kareis) 1889, Seite 103.

Angewandte Elektricitätslehre oder Elektrotechnik.

I. Abschnitt.

Elektrische Masse.

I. Kapitel.

Die praktischen elektrischen Masse.

42. Einleitung. Die neuen elektrischen Maße heißen:

1. Einheiten der British Association (1881) und des Pariser Congresses (1884), weil sie von diesen Corporationen zuerst eingeführt wurden,

2. internationale Maße, weil dieselben durch internationales Übereinkommen in die Wissenschaft aufgenommen wurden,

3. absolute Maße (Friedrich Gauss), weil sie unabhängig sind von Zeit und Ort der Beobachtung, im Gegensatze zu den conventionellen Maßen, welche im praktischen Leben gebräuchlich sind und diese Eigenschaften nicht besitzen.

Eine Krafteinheit ist beispielsweise von Zeit und Ort der Beobachtung unabhängig, wenn wir als Einheit der Kräfte jene Kraft annehmen, welche der Masse 1 Cubikmillimeter in der Sekunde einen Geschwindigkeitszuwachs (Beschleunigung) von 1 Millimeter ertheilt. Wählen wir aber anstatt der Masse das Gewicht 1 Cubikmillimeter Wasser als Einheit, so ist diese Krafteinheit an verschiedenen Orten der Erde verschieden, weil die Schwerkraft zwischen Pol und Äquator geringen Schwankungen unterliegt. Als Einheit der erdmagnetischen Kraft galt früher die erdmagnetisirende Kraft in London. Diese Einheit war im Gegensatze zu den absoluten Massen von Zeit und Ort der Beobachtung abhängig; sie war zu verschiedenen Zeiten eine andere, weil sich die erdmagnetisirende Kraft in London mit der Zeit der Beobachtung ändert, sie war vom Orte der Beobachtung abhängig, weil dieselbe nur für London ohneweiters Giltigkeit hat,

4. abgeleitete Masse oder das LMT (Länge, Masse, Zeit) System weil sie von Friedrich Gauß und Wilhelm Weber aus den Grundmaßen der Mechanik (Maße, Länge und Zeit) abgeleitet wurden.

Für das metrische Maß- und Gewichtssystem dienen das Meter (der zehnmillionste Theil des Erdmeridianquadranten) und das Gewicht des Wassers bei 4° C. als Grundmasse.

Das LMT System zerfällt:

a) In das Millimeter-Gramm-Sekunden (Mm Mg S) System mit den Grundeinheiten Millimeter, Milligramm und Sekunde.

b) In das Centimeter-Gramm-Sekunden (C G S) System mit den Grundeinheiten Centimeter, Gramm und Sekunde.

c) In das Meter-Kilogramm-Sekunden- (M Kg S) System mit den Grundeinheiten Meter, Kilogramm und Sekunde.

43. Das Ohm, die Einheit des Widerstandes wird dargestellt durch den Widerstand, welchen ein beständiger elektrischer Strom durch eine Quecksilbersäule von 14·4521 Grammmasse bei 0° C. einem gleichförmigen Querschnitte und einer Länge von 106·3 *cm* erfährt.

1 Ohm = dem Widerstande einer Quecksilbersäule von 106·3 *cm* Länge, 1 mm^2 Querschnitt bei 0° C. = 1 Ω.

1 Ohm = dem' Widerstande einer Quecksilbersäule von 100 *cm* Länge, 1 mm^2 Querschnitt bei 70° C.

1 Ohm, = 1·0615 S.E. (Siemens Einheiten).

1 legales Ohm = 1·06 S. E.

1 S. E. = dem Widerstande einer Quecksilbersäule von 100 *cm* Länge, 1 mm^2 Querschnitt bei 0° C. = 0·94 Ohm.

Unter dem specifischen Widerstande eines Drahtes versteht man den Widerstand des Drahtes bei 1 *m* Länge und 1 mm^2 Querschnitt.

Der specifische Widerstand eines Kupferdrahtes (also der Widerstand eines Kupferdrahtes von 1 *m* Länge und 1 mm^2 Querschnitt) = 0·016 Ohm. Zwischen Länge, Querschnitt und Widerstand von Kupferdrähten bestehen demnach folgende Beziehungen:

Länge = 1 *m*,	Querschnitt = 1 mm^2,	Widerstand	$w = 0{\cdot}016$ Ohm folgl.
„ = 2 „ ,	„ = 1 „ ,	„	$w = 0{\cdot}016 \times 2$,
„ = l „ ,	„ = 1 „ ,	„	$w = 0{\cdot}016 \times l$,
„ = l „ ,	„ = 2 „ ,	„	$w = 0{\cdot}016 \times \frac{l}{2}$ und
„ = l „ ,	„ = q „ ,	„	$w = 0{\cdot}016 \times \frac{l}{q}$.

Es ergibt sich demnach für den Widerstand eines Kupferdrahtes die Formel:

$$w = 0{\cdot}016 \cdot \frac{l}{q}.$$

Charakteristisch für den Kupferdraht ist in dieser Formel der specifische Widerstand des Kupfers = 0·016 Ohm. Für Silber hat man deshalb anstatt 0·016 die Zahl 0·015, für Neusilber anstatt 0·016 die Zahl 0·267, also die besonderen Zahlen für das betreffende Material einzuführen. Soll die Formel allgemein, d. h. für alle Drahtmateriale giltig sein, so hat man anstatt der besonderen Zahlen eine allgemeine Zahl (einen Buchstaben) z. B. c einzusetzen; dann erhält man den Widerstand w aus der Formel:

$w = c \cdot \frac{l}{q}$. Daraus ergeben sich für die Länge l die Formel:

$l = \frac{w \cdot q}{c}$, für den Querschnitt q die Formel:

$q = c \cdot \frac{l}{w}$ oder nach der Konstanten (dem specifischen Widerstande) aufgelöst:

$c = \frac{w \cdot q}{l}$, in welchen Formeln

w = Widerstand in Ohm,
c = Widerstand eines Meter von 1 mm^2 Querschnitt,
l = Länge in Metern und
q = Querschnitt in mm^2.

l muss in Metern, q in mm^2 gegeben sein, weil der specifische Widerstand c in diesen Massen gegeben ist. Aus den letzten Formeln ist ersichtlich, dass der Widerstand eines Drahtes mit seiner Länge wächst und mit seinem Querschnitte abnimmt.

Beispiel: Wie groß ist der Widerstand w eines Drahtes aus Neusilber ($c = 0·267$), von 100 m Länge und 10 mm^2 Querschnitt?

$$w = 0·267 \cdot \frac{100}{10} = 2·67 \text{ Ohm}.$$

Beispiel: Welchen Widerstand hat ein Kupferdraht ($c = 0·016$) von 200 m Länge und 0·19 cm^2 Querschnitt?

$$0·19\ cm^2 = 19\ mm^2;\quad w = 0·016 \cdot \frac{200}{19} = 0·1684 \text{ Ohm}.$$

Beispiel: Wie groß ist die Länge eines Kupferdrahtes ($c = 0·016$) dessen Querschnitt = 3 mm^2 bei einem Widerstande = 2 Ohm beträgt?

$$l = \frac{w \cdot q}{c} = \frac{2 \cdot 3}{0·016} = 375\ m.$$

Beispiel: Ein Draht aus Neusilber ($c = 0·267$) habe bei einer Länge von 50 m einen Widerstand von 4 Ohm. Wie groß muss der Querschnitt dieses Drahtes sein?

$$q = c \cdot \frac{l}{w} = 0{\cdot}267 \cdot \frac{50}{4} = 3{\cdot}3375 \; mm^2.$$

Beispiel: Ein Kupferdraht ($c = 0{\cdot}016$) sei 1000 *m* lang, habe einen Querschnitt von 7 mm^2 und einen Widerstand von 2 Ohm; wie groß ist der specifische Widerstand dieses Drahtes?

$$c = \frac{w \cdot q}{l} = \frac{7 \cdot 2}{1000} = 0{\cdot}014 \text{ Ohm}.$$

Der reciproke Wert des specifischen Widerstandes also den Wert $\frac{1}{c}$, heißt Leitungsvermögen oder Leitungsfähigkeit.

1 Megohm = 1000.000 Ohm = 10^6 Ohm,

1 Microohm = $\frac{1}{1000.000}$ Ohm = $\frac{1}{10^6}$ Ohm = 10^{-6} Ohm.

Werte von *c*.[1])

Leiter	*c* specifischer Widerstand	Δc Änderung des *c* für je 1° C.	$\frac{1}{c}$ = Leitungsfähigkeit bezogen auf 1 O
Aluminium, geglüht	0·02916	0·388	34·48
Blei, gepresst	0·1964	0·387	5·10
Eisen, rein	0·097535	0·48	10·25
Eisendraht, schwedischer	0·09907	0·0048	10·10
Gold, geglüht	0 0206	0·365	48·54
„ hart	0·02097	0·365	48·10
Kupfer	0·0160	0·38	62·5
Neusilber (Siemens)	0·267	0·034	37·45
Nickel, geglüht	0·1244	0·365	2·03
Nickelin	0·43—0·51	0·028—0·019	2·33—1·96
Platin, geglüht	0·0907	0·243	11·11
Platin-Silber (33·4% Platin)	0·2466	0·032	4·06
Quecksilber (Strecker)	0·9434	0·0907	1·06
Silber, geglüht	0·01506	0·377	66·66
„ hart	0·01631	0·377	61·35
Wismuth, gepresst	1·3132	0·354	0·77
Zink, „	0·0563	0·365	17·85
Zinn	0·1822	0·365	7·85
Messing [2])	0·068	—	—
Antimon [3])	0·358	—	—
Gaskohle [3])	40—120	—	—
Phosphorbronce [3])	0·104	—	—
Rheotan [4])	0.4051	—	—
Konstantan [4])	0.5868	—	—

[1]) Uppenborn, Kalender für Elektrotechniker. Die Zahlen gelten nur für bestimmte Proben.

[2]) Dr. von Waltenhofen, „Die internationalen absoluten Maße" 1892, Seite 40.

[3]) J. Fischer-Hinnen, „Die Berechnung und Wirkungsweise elektrischer Gleichstrommaschinen" 1892, Seite 168.

[4]) Nach den Messungen des Verfassers.

44. Das Ampère, die Einheit der Stromstärke, ist praktisch durch denjenigen unveränderlichen Strom dargestellt, welcher durch eine wässerige Silber-Nitratlösung fließend, aus derselben 0·001118 *g* Silber in der Sekunde niederschlägt.

1 Ampère = 1 *A*.
1 Ampère in der Sekunde = 1 Coulomb = *Cb*.
1 „ „ „ Minute = 60 „ .
1 „ „ „ Stunde = 60 . 60 = 3600 Coulomb.
Das Coulomb ist die Einheit der Elektricitätsmenge.
1 Megampère = 1000.000 Ampère.

1 Microampère = $\frac{1}{1000000}$ Ampère,

1 Megacoulomb = 1000000 Coulomb.

1 Microcoulomb = $\frac{1}{1000000}$ Coulomb.

1 Ampère zersetzt oder fällt aus: [1])

Elektrolyt	*mg* in der Sekunde	*mg* in der Minute	*mg* in der Stunde
Wasser	0·093	5·58	334·8
Nickel	0·305	18·30	1099
Kupfer	0·3281	19·686	1181·16
Zink	0·3371	20·22	1213·2
Gold	0·678	40·68	2441
Silber	1·118	67·08	4024·8

45. Das Volt, die Einheit der elektromotorischen Kraft, ist gleich der Kraft, welche beständig auf einen Leiter, dessen Widerstand = 1 Ohm wirkend, einen Strom von 1 Ampère erzeugt.

1 Volt ist praktisch als $\frac{1000}{1434}$ der elektromotorischen Kraft zwischen den Elektroden eines Clark-Elementes, bei einer Temperatur von + 15° C. dargestellt.

Das Volt, die Einheit der Spannung (der Spannungsdifferenz, des Potentials, der Potentialdifferenz, der elektromotorischen Kraft) ist weiters annähernd gleich der elektromotorischen Kraft eines Daniell'schen Elementes.

[1]) Die Zahlen gelten nur für bestimmte Proben.

1 Daniell = 1 Volt = 1 *V*,

1 Bunsen, Grove mit Salpetersäure	= 1·7	Daniell	= 1·9	*V*,
1 „ mit Chromsäure	= 1·8	„	= 2·0	„
1 Meidinger	= 0·9	„	= 1·0	„
1 Leclanché, Stöhrer oder Smee	= 1·2	„	= 1·3	„
1 Latimer Clark	= 1·27	„	= 1·457	„.

Als Beispiele hoher Spannungen seien die Versuchsresultate von Warren de la Rue und Hugo W. Müller bei Funkenentladungen angeführt.

Zur Bildung eines Entladungsfunken von 0·5 *cm* Länge
zwischen 2 parabolischen Spitzen sind 5000 Volt,
zwischen 1 parabolischen Spitze und einer Platte 6000 Volt,
zwischen 2 Platten 15000 Volt erforderlich.

Aus diesen Resultaten folgt, dass bei den kilometerlangen atmosphärischen Funkenentladungen Spannungen von Tausenden von Millionen Volt zum Ausgleiche kommen.

1 Megavolt = 1000000 Volt,

1 Microvolt $= \frac{1}{1000000}$ Volt.

46. Das Wesen der Elektricität.

Zur Versinnlichung des Wesens der Elektricität bedient man sich in der Regel des Wassers, indem man das Gewicht des Wassers mit der Stromstärke, das Gefälle des Wassers *H*, Fig. 63, mit der Spannung, den Widerstand, den das Wasser in einer Rohrleitung z. B. *L*, Fig. 63, erfährt, mit dem Widerstande des elektrischen Stromes in Drähten vergleicht.

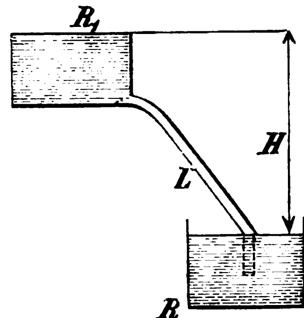


Fig. 63.

1. Vergleich zwischen dem Gewichte des Wassers und der Stromstärke.

Fließt durch eine Rohrleitung *L*, Fig. 63, viel Wasser, so muss dieselbe einen großen Querschnitt haben. Hat der Strom in einem Elektricitätsleiter eine hohe Stromstärke, so muss derselbe einen großen Querschnitt haben.

2. Vergleich zwischen dem Gefälle des Wassers und der Spannung (dem Gefälle des Stromes).

Nur wenn zwischen den Wasserspiegeln zweier Gefäße R_1 und R_2 ein Gefälle z. B. *H*, Fig. 63, herrscht, fließt zwischen denselben Wasser.

Nur wenn zwischen zwei Punkten eines Elektricitätsleiters eine Spannungsdifferenz (elektrisches Gefälle) herrscht, fließt zwischen denselben Strom.

3. Vergleich zwischen dem Widerstande, den eine Rohrleitung dem Wasser und ein Elektricitätsleiter dem Strome entgegensetzen.

Je enger eine Rohrleitung ist, desto größer wird verhältnismäßig der Widerstand sein, welchen das Wasser in derselben zu überwinden hat. Je kleiner der Querschnitt eines Elektricitätsleiters ist, desto höher stellt sich der Widerstand, den der elektrische Strom zu überwinden hat.

4. Vergleich zwischen den Leistungsfähigkeiten des Wassers und Stromes.

Je größer das Wassergewicht und das Gefälle sind, desto leistungsfähiger zeigt sich das Wasser. Je größer die Stromstärke und die Spannung sind, desto leistungsfähiger ist der elektrische Strom.

Die neuesten wissenschaftlichen Forschungen über das Wesen der Elektricität (Faraday, von Helmholtz, Maxwell und Hertz) haben mathematisch und experimentell dargethan, dass die Elektricität, sowie das Licht, eine Wellenbewegung eines angenommenen Stoffes des sogenannten Lichtäthers ist.

Nach Maxwell betragen die Geschwindigkeit der Elektricität und des Lichtes 300.000 Kilometer in der Sekunde.

Zwischen Stromstärke, Spannung, Widerstand eines Stromkreises besteht ein ganz bestimmter, gesetzmäßiger Zusammenhang, das Ohm'sche Gesetz.

47. Das Ohm'sche Gesetz.

Das Ohm'sche Gesetz ist das wichtigste Grundgesetz der Elektrotechnik. In seiner einfachsten Form lässt sich dieses Gesetz wie folgt aussprechen:

In jedem geschlossenen Stromkreise ist die

$$\text{Stromstärke} = \frac{\text{Spannung}}{\text{Widerstand}}.$$

Bezeichnet man die Stromstärke mit dem Buchstaben A (Ampère), die Spannung mit dem Buchstaben V (Volt), den Widerstand mit dem Buchstaben O (Ohm), so erhält die obige Gleichung die Form:

$$A = \frac{V}{O}, \text{ Form I.}$$

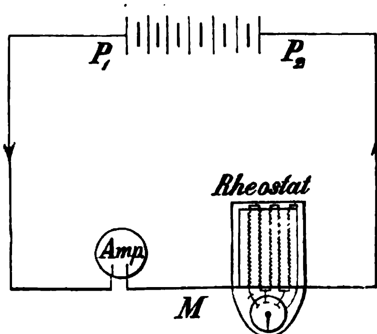


Fig. 64.

Fig. 64 stellt eine Anordnung des Versuches dar, welcher dazu dienen kann, das Ohm'sche Gesetz nachzuweisen.

In der folgenden Tafel sind durch solche Versuche ermittelte zusammen gehörige Werte von *A*, *V* und *O* angegeben.

Tafel.

A	V	O	$A = \frac{V}{O}$
2	60	30	$2 = \frac{60}{30}$
3	60	20	$3 = \frac{60}{20}$
5	60	12	$5 = \frac{60}{12}$
2	100	50	$2 = \frac{100}{50}$
4	100	25	$4 = \frac{100}{25}$
20	200	5	$20 = \frac{200}{5}$

Wie man aus der Tafel ersieht, befriedigen sämmtliche zusammengehörige, durch Versuche ermittelte Werte von *A*, *V* und *O* das Ohm'sche Gesetz:

$$A = \frac{V}{O}.$$

Sind demnach zwei von den drei Größen *A*, *V* und *O* gegeben, so kann man die dritte aus dem Ohm'schen Gesetze berechnen.

Beispiel: Wie groß ist die Stromstärke in dem geschlossenen Stromkreise P_1 M P_2, wenn die Spannung an den Klemmen der Stromquelle (in diesem Falle 6 Akkumulatoren) 12 Volt und der im Rheostate eingeschaltete Widerstand 3 Ohm betragen?

Setzt man die gegebenen Werte in die Form. I des Ohm'schen Gesetzes ein, so erhält man:

$$A = \frac{12}{3} = 4 \text{ Ampère.}$$

Ist noch ein zweiter Widerstand, z. B. 1 Ohm, in dem Stromkreise vorhanden, so beträgt der gesammte Widerstand 3 + 1 = 4 Ohm und

$$A = \frac{12}{3+1} = \frac{12}{4} = 3 \text{ Ampère, d. h.:}$$

Wenn der Stromkreis aus mehreren Theilen besteht, so ist die

$$\text{Stromstärke} = \frac{\text{Spannung}}{\text{Summe der Widerstände}}.$$

In letzterem Beispiele wurden als Stromquelle 6 Akkumulatoren in Hintereinanderschaltung zu je 2 Volt = 12 Volt vorausgesetzt. Es ist nun gleichgiltig wie die Akkumulatoren vertheilt sind, d. h. an welchem Orte oder an welchen Örtern des Leitungsnetzes dieselben eingeschaltet werden.

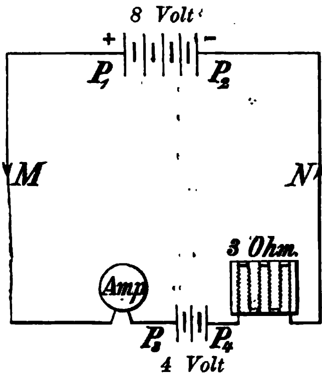


Fig. 65.

In Fig. 65 sind die Akkumulatoren in Gruppen an verschiedenen Örtern des Stromkreises angeordnet.

Beispiel: Wie groß ist die Stromstärke unter den in der Fig. 65 gegebenen Verhältnissen:

1. Ohne Berücksichtigung des Widerstandes des Verbindungsdrahtes?

$$J = \frac{8+4}{4} = 4 \text{ Ampère, d. h.:}$$

Enthält der Stromkreis mehrere elektromotorische Kräfte, so ist die

$$\text{Stromstärke} = \frac{\text{Summe d. Spannungen}}{\text{Widerstand}}.$$

2. Mit Berücksichtigung des Widerstandes des Verbindungsdrahtes? Dieser Widerstand sei 1 Ohm.

$$J = \frac{8+4}{3+1} = 3 \text{ Ampère, d. h.:}$$

Enthält der Stromkreis mehrere elektromotorische Kräfte und besteht derselbe aus mehreren Theilen, so ist die Strom-

$$\text{stärke} = \frac{\text{Summe d. Spannungen}}{\text{Summe d. Widerstände}},$$

allgemeine Form des Ohm'schen Gesetzes.

Aus der I. Form des Ohm'schen Gesetzes:

$$A = \frac{V}{O}$$

ergibt sich, wenn man beiderseits des Gleichheitszeichens mit O multiplicirt:

$$A\,O = V \text{ oder}$$
$$V = A\,O, \text{ Form. II.}$$

Beispiel: Mit welcher Spannung leuchtet eine Glühlampe, wenn ihr Stromverbrauch 0·5 Ampère und ihr Widerstand bei dieser Stromstärke = 200 Ohm betragen?

$$V = A\,O = 0{\cdot}5 \,.\, 200 = 100 \text{ Volt.}$$

Beispiel: Wie groß ist der Spannungsverlust in einer Leitung mit dem Widerstande von 0·5 Ohm, wenn durch die Leitung 10 Ampère fließen?

$$V = A\,O = 0{\cdot}5 \,.\, 10 = 5 \text{ Volt.}$$

Beispiel: Der Vorschaltwiderstand einer Bogenlampe für 10 Ampère messe 1 Ohm. Wie viel Volt werden durch diesen Widerstand getilgt?

$$V = A \,.\, O = 10 \,.\, 1 = 10 \text{ Volt.}$$

Die II. Form des Ohm'schen Gesetzes: $V = AO$ übergeht durch A dividirt in:

$$\frac{V}{A} = O \quad \text{oder} \quad O = \frac{V}{A}, \text{ Form III.}$$

Beispiel: Wie groß muss der einer Bogenlampe vorgeschaltete Widerstand W sein, wenn letztere bei 10 Ampère auf 45 Volt einregulirt ist, und die Klemmenspannung der Dynamomaschine D, Fig. 66, 60 Volt beträgt?

In diesem Falle müssen 60—45 = 15 Volt durch den Vorschaltwiderstand verbraucht werden.

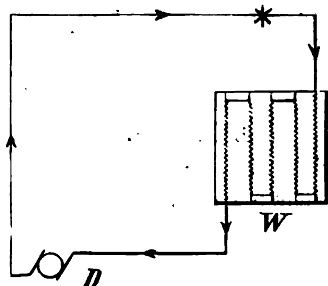


Fig. 66.

$$O = \frac{15}{10} = 1{\cdot}5 \text{ Ohm.}$$

Beispiel: Die Spannung an den Klemmen einer Dynamomaschine betrage 100 Volt. Es ist der Widerstand eines an diese Klemmen einzuschaltenden Leitungsnetzes zu berechnen, durch welches 20 Ampère fließen sollen.

$$O = \frac{100}{20} = 5 \text{ Ohm.}$$

48. Das Farad.

Das Farad ist das Verhältnis der Elektricitätsmenge zur Spannung, d. h.:

$$1 \text{ Farad} = \frac{1 \text{ Coulomb}}{1 \text{ Volt}},$$

$$1 \text{ Megafarad} = 1000000 \text{ Farad,}$$

$$1 \text{ Microfarad} = \frac{1}{1000000} \text{ Farad.}$$

49. Arbeit, Effekt (Leistung).

Elekt. Arbeit = Stromstärke × elektromot. Kraft × Zeit.

Die technische Einheit der elektrischen Arbeit ist:

1 Sekunden-Volt-Ampère = 1 Volt-Coulomb = 1 Joule = $\frac{1}{981}$ *mkg* = 0·102 *mkg.*

Elekt. Effekt = Stromstärke × elektromotorische Kraft.

Die technische Einheit des elektrischen Effektes ist:

1 Voltampère = 1 Watt.

1 englische Pferdekraft = *HP* (horse power) . = 746 Watt.
1 metrische Pferdekraft = *P. S.* (Pferdestärke) = 736 Watt.
1 Kilowatt . . . . = 1000 Watt.

II. Kapitel.

Die theoretischen und praktischen physikalischen Maße.

I. Physikalische Maße.

50. Fläche. Aus den 3 Grundmaßen Länge, Maße und Zeit lassen sich für alle physikalischen Größen Einheiten ableiten. Die Einheit der Fläche geht aus der Einheit der Länge vermittels der Überlegung hervor, dass die Einheit der Fläche das Quadrat über der Einheit der Länge darstellt.

Längeneinheit = L,
Flächeninhalt $F = L^2$,

d. h., die Flächeneinheit ist dem Quadrate der Längeneinheit proportional oder die Flächeneinheit ist im Vergleiche mit der Längeneinheit von der 2. Dimension (Abmessung oder Ausdehnung). Die Längeneinheit hat die Dimension L, die 1. Dimension, die Flächeneinheit hat die Dimension L^2, die 2. Dimension. Eine Linie hat eine, eine Fläche 2 Dimensionen.

51. Rauminhalt (Körper-, Kubikinhalt oder Volumen). In der Geometrie ist die Einheit des Raumes ein Würfel, dessen Kantenlänge der Längeneinheit gleich ist. Die absolute Einheit des Raumes stellt ein Würfel mit der Kantenlänge der Längeneinheit L dar, d. h.:

Die Einheit des Rauminhaltes $V = L^3$.

Somit ist die Raumeinheit der 3. Potenz der Längeneinheit proportional oder die Raumeinheit ist im Vergleiche mit der Längeneinheit von der 3. Dimension.

Im *Mm Mg S* System ist die Raumeinheit = 1 Cubikmillimeter,
im *C G S* „ „ „ „ = 1 Cubikcentimeter,
und im *M Kg S* „ „ „ „ = 1 Cubikmeter.

52. Geschwindigkeit. Unter Geschwindigkeit c eines sich gleichförmig bewegenden Körpers versteht man den in der Sekunde zurückgelegten Weg. Für eine Sekunde ist daher $c = s$. Braucht der Körper t Sekunden, um diesen Weg zurückzulegen, so wird die Geschwindigkeit c um t mal kleiner sein, d. h.:

$$c = \frac{s}{t}.$$

Die Einheit der Geschwindigkeit ist demnach von den Einheiten der Zeit t und der Länge (des Weges) s abgeleitet. Um die Dimension einer Geschwindigkeit zu erhalten müssen wir für s und t die betreffenden Einheiten L umd T einführen. Die Dimension einer Geschwindigkeit ist demnach:

$$C = \frac{L}{T} = LT^{-1}.$$

Die Einheit der Geschwindigkeit ist der Längeneinheit L gerade, der Zeiteinheit T umgekehrt proportional.

1. Beispiel: $L = 30.000\ mm$, $T = 5$ Sekunden; wie groß ist die Geschwindigkeit im *Mm Mg S* System?

$$C = \frac{L}{T} = \frac{30000}{5} = 6000\ Mm\ S^{-1}.$$

Die Geschwindigkeit im *Mm Mg S* System = 6000 $Mm\ S^{-1}$.

2. Beispiel: $L = 3000\ cm$, $T = 5$ Sekunden; wie groß ist die Geschwindigkeit im *CGS* System?

$$c_2 = \frac{L}{T} = \frac{3000}{5} = 600\ CS^{-1}.$$

Die Geschwindigkeit im *CGS* System = 600 CS^{-1}.

3. Beispiel: $L = 30\ m$, $T = 5$ Sekunden; wie groß ist die Geschwindigkeit in *M Kg S* System?

$$c_3 = \frac{30}{5} = 6\ MS^{-1}.$$

Die Geschwindigkeit im *M Kg S* System = 6 MS^{-1} absoluten Einheiten.

Die in den 3 letzten Beispielen gegebenen Geschwindigkeiten verhalten sich folgend:

$$C_1 : C_2 : C_3 = 6000 : 600 : 6 \text{ oder}$$
$$C_1 : C_2 : C_3 = 1000 : 100 : 1.$$

Bestimmt man demnach eine Geschwindigkeit im $M\,Kg\,S$ System, im 3. Beispiele $c_3 = 6 M\,S^{-1}$, so hat man dieselbe mit 100 zu multipliciren um die Geschwindigkeit im CGS System, im 2. Beispiele $c_2 = 600\ CS^{-1}$, zu erhalten. Die Einheiten des $M\,Kg\,S$ System und des CGS System verhalten sich demnach wie 1 : 100.

Ebenso findet man die folgenden Verhältnisse:

$$CGS \text{ System} : Mm\,Mg\,S \text{ System} = 1:10,$$
$$M\,Kg\,S \quad " \quad : Mm\,Mg\,S \quad " \quad = 1:1000.$$

4. Beispiel: Ein Personenzug lege 50 *km* in der Stunde zurück; wie groß ist seine Fahrgeschwindigkeit in $C\,G\,S$ Einheiten?

$$c = \frac{L}{T} = \frac{50.100.000}{3600} = 1333\ C\,S^{-1}.$$

Die Fahrgeschwindigkeit beträgt 1333 CGS Einheiten.

53. Beschleunigung. Die Beschleunigung g eines Körpers ist gleich dem Geschwindigkeitszuwachse in der Sekunde:

$$g = \frac{c}{t}.$$

Die absolute Einheit der Beschleuniguug $G = \frac{L}{T^2} = LT^{-2}$. Die Dimension der Beschleunigung ist demnach $\frac{L}{T^2}$ oder LT^{-2}.

Die LT Einheit der Beschleunigung ist der Längeneinheit L gerade und dem Quadrate der Zeiteinheit T^2 umgekehrt proportional.

54. Kraft. Die Mechanik führt für das Produkt aus der Masse m in die Beschleunigung g des Ausdruck Kraft p ein, d. h.:

$$p = mg.$$

Die Einheit der Kraft, das *Dyn* oder die *Dyne* (Kraft), muss deshalb als jene Kraft angesehen werden, welche der Einheit der Masse M die Einheit der Beschleunigung $\frac{L}{T^2}$ ertheilt. Daraus ergibt sich die Dimension einer Kraft:

$$P = M\,\frac{L}{T^2} = LMT^{-2}.$$

1. Beispiel: Wie viel $C\,G\,S$ Einheiten zählt eine Kraft, welcher eine Masse von 3 *kg* eine Beschleunigung von $\frac{2\ m}{(4\ \text{sec.})^2}$ ertheilt?

$$\frac{2\,M.\,3\,Kg}{16\ S^2} = \frac{200\ C.\ 2000\ G}{16\ S^2} = 25000\ CGS^{-2}.$$

Die in Frage gestellte Kraft zählt demnach 25000 CGS^{-2} Einheiten.

2. **Beispiel:** Wie verhalten sich die Krafteinheiten im *Mm Mg* S^{-2} und im CGS^{-2} System?

$$CGS^{-2} = 10\,Mm.\ 1000\,Mg\,S^{-2} = 10000\ Mm\,Mg\,S^{-2}.$$

Es verhalten sich demnach die Einheiten im CGS^{-2}: Einheiten im *Mm Mg* S^{-2} System = 1 : 10000.

3. **Beispiel:** Wie groß ist die Kraft *P*, mit welcher 1 *kg* von der Erde angezogen wird?

Die kommerciellen Gewichte geben uns die Kraft an, mit welcher die Beschleunigung der Erde auf die gleichbenannten Massen einwirkt. Das Gewicht (die Kraft) eines *kg* ist demnach gleich dem Produkte aus der Masse 1 *kg* in die Beschleunigung, welche die Schwerkraft der Erde auf die freibewegliche Masse 1 *kg* ausübt. Diese Beschleunigung $g = 9{\cdot}78\,(1 + 0{\cdot}0052\,\sin^2\varphi)$,[1]) wenn *F* = geographische Breite; sie ist im Mittel = 9·81, am Äquator rund 9·78, an den Polen rund 9·83 *m*. Die Kraft *P*, mit welcher 1 *kg* von der Erde angezogen wird

$$P = 981.1000\ CGS^{-2},$$
$$= 981000\quad CGS^{-2}\ \text{Einheiten.}$$

55. Arbeit.

Nach den Gesetzen der Mechanik ist eine **Arbeit** *a* gleich dem Produkte aus der **Kraft** *s*, d. h.:

$$a = p\,s.$$

Die absolute Einheit der mechanischen Arbeit ist jene Arbeit, welche von der absoluten Einheit der Kraft auf dem Wege der Längeneinheit geleistet oder verbraucht wird. Die absolute Einheit der mechanischen Arbeit im *CGS* Systeme ist jene Arbeit, welche 1 *Dyn* Kraft auf dem Wege von 1 *cm* Länge leistet oder verbraucht.

A = 1 **Centimeter** *Dyn* = 1 *Erg* (**Werk** oder **Arbeit**).

Die Dimension der Arbeit ist demnach gleich der Dimension der Kraft mal der Dimension der Längeneinheit:

$$A = LMT^{-2}L = L^2MT^{-2}.$$

Beispiel: Wie viel *Erg* enthält ein **Kilogrammeter**?

Nach Früherem ist

$$1\ \text{Kilogramm} = 981.000\ CGS = 981.000\ Dyn,$$
$$1000000\ mg = 981.000\ Dyn,$$
$$1\ mg = 0{\cdot}981\ Dyn,$$
$$1\ mg \doteq 1\ Dyn,$$
$$1\ \text{Kilogrammeter} = 981000.100\ Erg,$$
$$\text{„} \quad = 98100000\ Erg = 9{\cdot}81.10^7\ Erg.$$

---

[1]) Dr. von Waltenhofen „Mechanische Physik", Seite 72.

Ein Kilogrammeter enthält $9{\cdot}81.10^7$ *Erg*, das ist die Arbeit, welche geleistet wird, wenn man 1 *kg* 1 *m* hoch hebt.

56. Effekt (Arbeitsstärke, Zeitarbeit, Intensität der Arbeitsleistung). Unter Effekt versteht man die in der Zeiteinheit geleistete Arbeit.

Die absolute Einheit des Effektes ist derjenige Effekt, durch welchen in der Zeiteinheit die absolute Einheit der mechanischen Arbeit geleistet wird. Die absolute Einheit des Effektes im *CGS* System ist jener Effekt, durch welchen in der Zeiteinheit 1 Erg Arbeit geleistet wird. Dieser Definition entsprechend nennt man diese Einheit auch Sekundenerg.

$$1 \text{ Sekundenerg} = \frac{1}{981.10^7} \text{ Sekundenkilogrammeter.}$$

Das Sekundenkilogrammeter ist die Einheit des Effektes im *MKgS* System.

75 *MKgS* nennt man eine Pferdestärke (Pferdekraft) *PS*.

$$1\ PS = 75\ mkg \text{ in der Sekunde.}$$
$$1\ PS \text{ Stunde} = 75.3600 = 270000 \text{ Meterkilogramm.}$$

Gebräuchlicher noch als die Bezeichnungen *PS* und *PS* Stunden sind die englischen Symbole *HP* (horse-power) und *HPH* (horse-power-hour), wobei jedoch

$$1\ HP = 76\ mkg.$$

57. Wärmeäquivalent. Unter dem mechanischen Äquivalente der Wärme versteht man jene mechanische Arbeit L^2MS^{-2}, die jener Wärmemenge gleichwertig (äquivalent) ist, welche die Einheit des Wassers um 1° C. erwärmt; diese Wärmemenge nennt man zugleich die Wärmeeinheit (Calorie).

Daraus ergibt sich die Dimension: $\frac{\text{Arbeitseinheit}}{\text{Wärmeeinheit}}$, als Arbeitseinheit für die Wärmeeinheit.

$$\text{Mechanisches Wärmeäquivalent} = \frac{C^2GS^{-2}}{G} = C^2S^{-2}$$

1 Kilogrammcalorie ist bekanntlich $= 423{\cdot}5$ Kilogrammmeter oder $9{\cdot}81 \times 423{\cdot}5$ *MKgS* Einheiten $= 4154$ *MKgS* Einheiten oder weil die Längeneinheit $M = 100\ C$ und in der Dimensionsformel für das mechanische Wärmeäquivalent C^2 vorkommt, ist das Verhältnis

des mechanischen Äquivalentes der Wärme im *CGS* System 100^2mal so groß als im *MKgS* System, d. h.: $4154 \times 100^2 = 4{\cdot}15 \times 10^7 CGS = E$.

$$E = 4{\cdot}15 \times 10^7 \; C^2 S^{-2}.$$

Den reciproken Wert, also $\frac{1}{E}$ nennt man das calorische Äquivalent der Arbeitseinheit. Es ist demnach

$$\frac{1}{E} = 0{\cdot}24 \times 10^{-7} \; C^{-2} S^2 \text{ oder}$$

1 Erg = $0{\cdot}24 \times 10^{-2}$ Grammcalorien.

58. Magnetismus (Polstärke oder **absolute Einheit der Pole).** Die Kraft p der Einwirkung zweier magnetischer Theilchen m_1 und m_2 aufeinander, welche von einander eine bestimmte Entfernung r haben, ist bekanntlich nach dem Gesetze von Coulomb dem Produkte der Massen m_1 und m_2 gerade, dem Quadrate der Entfernung r^2 verkehrt proportional, d. h.:

$$p = \frac{m_1 \; m_2}{r^2}.$$

Die Einheit des Magnetismus ist demnach jene Menge m_1, welche auf eine gleich große, in der Entfernung 1 befindliche, eine Kraft 1 ausübt, d. h.:

$$P = \frac{m_1{}^2}{L} \text{ und}$$

$$m_1 = LP^{1/2} = \frac{M^{1/2} L^{3/2}}{T}.$$

59. Elektrische Einheiten. Sowie bei der Ableitung der Einheit des Magnetismus, müssen wir auch bei der Ableitung elektrischer Einheiten von bestimmten Gesetzen ausgehen. Wir kommen auf diesem Wege zu zweierlei elektrischen Einheiten, weil die Kraft, mit welcher zwei elektrische Theilchen aufeinander einwirken, eine andere ist, je nachdem sich diese Theilchen in Ruhe (Ruhende Elektricität) oder in Bewegung (Bewegte Elektricität) befinden. So gelangt man zu dem elektrostatischen und elektromagnetischen Maßsysteme, von denen jedoch hier nur das praktisch wichtigere, das elektromagnetische behandelt werden soll.

II. Elektromagnetische Einheiten.

60. Stromstärke. Der Aufstellung der elektromagnetischen Einheiten liegt, ihrer Benennung entsprechend, das Gesetz der Wechselwirkung zwischen Strömen und Magneten zugrunde. Befindet sich ein

magnetischer Pol μ im Mittelpunkte eines kreisförmig geschlossenen Leiters, so ist die Kraft p, welche auf den Pol wirkt

$$p = k\,i\,.\frac{l\,\mu}{r^2}, \text{ worin}$$

i = Stromstärke,
l = Länge des Leiters,
r = Entfernung des Poles vom Leiter, Halbmesser der Windung des Kreisstromes.

Aus dieser Formel ergibt sich als Wert für die Stromstärke $i = \frac{1}{k}.\frac{p\,.\,r^2}{l\,.\,\mu}$ oder, wenn man für die Konstante $\frac{1}{p}$ die neue Konstante k_1 einführt:

$i = k_1\frac{p\,.\,r^2}{l\,\mu}$. Diese Formel übergeht durch Hinweglassung des konstanten Faktors k_1 in die Formel:

$$i = \frac{p\,r^2}{l\,\mu}.$$

Hierin stellen r eine Länge, p eine Kraft und μ die Menge des Magnetismus vor, deren Einheiten bereits abgeleitet wurden.

Die Einheit der Stärke eines Stromes J in einem Leiter von der Länge L übt demnach auf die Einheit des Magnetismus μ in der Entfernung L die Kraft P aus, so zwar, dass

$$P = \frac{LJ\mu}{L^2} \text{ oder } J = \frac{P.L}{\mu} = \frac{PL}{P^{1/2}L} = P^{1/2} = \frac{M^{1/2}L^{1/2}}{T} = L^{1/2}M^{1/2}T^{-1}.$$

Die praktische Einheit der Stromstärke 1 Ampère = $= \frac{1}{10}$ der Einheit im CGS-System.

61. Elektricitätsmenge. Unter der Elektricitätsmenge E versteht man jene Elektricitätsmenge, die bei der Stromstärke $L^{1/2}M^{1/2}T^{-1}$ in der Zeit T durch den Querschnitt des Leiters fließt. Die Einheit der Elektricitätsmenge ist diesen Bestimmungsstücken proportional und hat demnach die Dimension

$$E = L^{1/2}M^{1/2}T^{-1}T = L^{1/2}M^{1/2}.$$

Aus dieser Elektricitätsmenge geht die absolute elektromagnetische Einheit der Elektricitätsmenge hervor, wenn man anstatt der Stromstärke die absolute Einheit derselben und anstatt der Zeit die Zeiteinheit einführt.

Nimmt man als Stromstärke eine absolute elektromagnetische CGS-Einheit an, dann fließt in der Sekunde durch den Querschnitt

des Leiters eine absolute elektromagnetische $C \, . \, G \, . \, S$-Einheit der Elektricitätsmenge.

$\frac{1}{10}$ Einheiten des $C\,G\,S$-System = 1 Coulomb.

62. Elektromotorische Kraft (Spannung, Spannungsdifferenz, elektrisches Potential, Potentialdifferenz). In einer elektrischen Maschine ist folgende Anordnung getroffen: Innerhalb eines magnetischen Feldes von der Intensität H befindet sich ein Leiter J, Fig. 58 und 59 von der Länge L. Der Leiter soll mit einer Geschwindigkeit v so bewegt werden, dass dieselbe von der Richtung der magnetischen Kraft (Richtung der Kraftlinien) senkrecht geschnitten wird. Durch die Rotation des Leiters in dem magnetischen Felde ergibt sich ein Unterschied in den Potentialwerten an den Enden des inducirten Leiterstückes

$$V = V_1 - V_2.$$

Die entstehende Potentialdifferenz ist den Größen H, L und v proportional.

$V = V_1 - V_2 =$ Konst. $H \, . \, L \, . \, v$, welche Gleichung in die folgende:

$V = HLv$ übergeht, wenn die Konstante = 1 gesetzt wird, d. h. wenn jene Spannungsdifferenz = 1 ist, welche bei der obigen Bewegung eines Leiters von der Länge = 1 in einem magnetischen Felde von der Intensität = 1 bei der Geschwindigkeit = 1 in diesem Leiter entsteht. Die Dimension eines Potentialunterschiedes ist demnach: $L^{-1/2} M^{1/2} T^{-1} L \, . \, L T^{-1} = L^{3/2} M^{1/2} T^{-2}$ und im $C\,G\,S$-Systeme ist die Einheit der elektromotorischen Kraft $= C^{3/2} G^{1/2} S^{-2}$, dabei ist jene elektromotorische Kraft als Einheit eingeführt, welche in einem Leiterstücke von der Länge 1 Centimeter in einem magnetischen Felde von der Intensität 1 mit einer Geschwindigkeit von 1 Centimeter in der Sekunde inducirt wird.

Als praktische Einheit gilt:

$$1 \text{ Volt} = 10^8 \, C^{3/2} G^{1/2} S^{-2}.$$

Die Gleichheit der Dimensionen für die elektromotorische Kraft und das Potential ergibt sich schon aus der Definition der letzteren, nach welcher eine elektromotorische Kraft die Differenz zweier Potentiale darstellt.

63. Induktionscoëfficient. Die Ursache der gegenseitigen und der Selbstinduktion ist eine elektromotorische Kraft (§ 39, a). Die elektromotorische Kraft der Induktion E ist den Änderungen der Stromstärke di in einem Leiterelemente dt proportional, d. h.:

$$E = C \frac{di}{dt},$$

worin C einen Proportionalitätsfaktor, den Coëfficienten der Induktion vorstellt. Für den Coëfficienten der gegenseitigen Induktion wählt man gewöhnlich den Buchstaben M, für den der Selbstinduktion den Buchstaben L; damit ergibt sich für die elektromotorische Kraft der gegenseitigen Induktion die Formel:

$$E_1 = M \frac{di}{dt}, \text{ worin } M = -\iint \frac{\cos \varepsilon}{r} \, dl \, dl';$$

dl und dl' = zwei Leiterelemente,

ε = dem Winkel, welche die zwei Leiterelemente dl und dl^1 miteinander einschließen und

r = Entfernung der Leiterelemente dl und dl'.

Dagegen erscheint die elektromotorische Kraft der Selbstinduktion durch die Formel $E_2 = L \frac{di}{dt}$ charakterisirt.

Die Selbstinduktion ruft eine scheinbare, vielfache Erhöhung des Widerstandes der Leiter hervor.

Wenn W_1 = scheinbarer Widerstand,

W = Ohm'scher Widerstand (mit Gleichstrom gemessener Widerstand) und p = Anzahl der Stromwechsel in der Sekunde, dann gelten die Formeln:

$$W_1 = \sqrt{W^2 + (\pi p L)^2} \text{ und } L = \frac{\sqrt{W_1^2 - W^2}}{\pi p}.$$

Aus der Gleichung:

$$E = C \frac{di}{dt} \text{ folgt: } C = E \frac{dt}{di}.$$

Die Dimension des Induktionscoëfficienten (Coëfficient der gegenseitigen und Selbstinduktion) ist demnach:

$$\text{Dimension } C = \frac{L^{3/2} M^{1/2} T^{-2}}{L^{1/2} M^{1/2} T^{-1}} \cdot T = L.$$

Die Dimension des Induktionscoëfficienten stellt somit eine Länge dar.

Die praktische Einheit der Induktionscoëfficienten wird Quadrant genannt;

$$1 \text{ Quadrant} = 10^9 \; C.$$

Der in Chicago, anlässlich der Weltausstellung 1893 abgehaltene elektrotechnische Congress hat für die Einheit der Induktionscoëfficienten, dem erfolgreichen Forscher auf dem Gebiete der Induktion höherer Ordnung (§ 39, k) J. Henry zu Ehren, die Benennung Henry eingeführt:

$$1 \text{ Henry} = 1 \text{ Quadrant} = 10^9 \; C.$$

64. Widerstand. Die Dimension eines Widerstandes ergibt sich aus dem Ohm'schen Gesetze

$$1 \text{ Ohm} = \frac{1 \text{ Volt}}{1 \text{ Ampère}}.$$

Die Einheit des Widerstandes ist demnach jener Widerstand, in welchem die Einheit der elektromotorischen Kraft 1 Volt, die Einheit der Stromstärke 1 Ampère erzeugt.

Dimension des Widerstandes $= \frac{M^{1/2} L^{3/2}}{T^{1/2}} \cdot \frac{T}{L^{1/2} M^{1/2}} = \frac{L}{T} =$ $= LT^{-1}$.

Aus dieser Form geht hervor, dass Widerstand und Geschwindigkeit dieselbe Dimension haben.

Als praktische Einheit des Widerstandes gilt

$$1 \text{ Ohm} = 10^9 \; C.G.S \text{ Einheiten.}$$

65. Kapacität. In der Wärmelehre nennt man calorische Kapacität jene Wärmemenge, welche erforderlich ist, um die Temperatur eines Körpers um 1° C. zu erhöhen; ähnlich nennt man elektrische Kapacität jene Elektricitätsmenge, mit welcher ein Leiter geladen wird, wenn sein Potential um die Einheit steigt.

$$\text{Kapacität} = \frac{\text{Coulomb}}{\text{Volt}} \quad (§ 45).$$

Daraus ergibt sich mit Bezug auf die Dimensionen von Coulomb (§ 48) und Volt (§ 86):

Dimension der Kapacität $= \frac{L^{1/2} M^{1/2}}{L^{3/2} M^{1/2} T^{-2}} = L^{-1} T^2$ oder im *CGS* System:

$$\text{Kapacitätseinheit} = C^{-1} S^2.$$

Die praktische Einheit der Kapacität ist das Farad.

$$1 \text{ Farad} = 10^{-9} \; C^{-1} S^2 \text{ und}$$
$$1 \text{ Microfarad} = 10^{-15} \; C^{-1} S^2.$$

Ein Kondensator [1]) aus Zinnfolie und paraffinirtem Papiere hat bei ungefähr 1·5 m^2 Belegfläche und etwa 0·1 *mm* Dicke des paraffinirten Papieres 1 Microfarad Kapacität.

66. Elektrische Arbeit. Fließt durch einen Leiter vom Widerstande W, an dessen Enden eine Spannungsdifferenz V herrscht, ein Strom von der Stromstärke A, so ist die von dem Leiter in der Zeiteinheit geleistete

[1]) Dr. von Waltenhofen „Die internationalen absoluten Maße", S. 44.

Arbeit $= A \cdot V$ und die in der Zeit t geleistete Arbeit $= A \cdot Vt$. oder weil $V = A \cdot W$:

$$\text{Elektrische Arbeit} = A^2 . W . t.$$

Diesen Ausdruck für die elektrische Arbeit nennt man das Joule'sche Gesetz.

Aus der letzten Formel ergibt sich die Dimension der elektrischen Arbeit im CGS System:

$$\text{Dimension der elektrischen Arbeit} =$$
$$= C^{1/2} G^{1/2} S^{-1} . C^{1/2} G^{1/2} S^{-1} . CS^{-1} S = C^{-2} GS^{-2}.$$

Die praktische Einheit der elektrischen Arbeit ist

$$1 \text{ Joule} = 10^7 \, C^2 GS^{-2} = 1 \text{ Volt-Coulomb} = \frac{1}{9{\cdot}81} \, mkg.$$

67. Elektrischer Effekt. Unter dem elektrischen Effekte versteht man die in 1 Sekunde geleistete elektrische Arbeit. Aus diesem Begriffe des elektrischen Effektes folgt mit Berücksichtigung der Dimension der elektrischen Arbeit die Dimension des Effektes:

$$\text{Dimension des elektrischen Effektes} = C^2 GS^{-2}.$$

Die praktische Einheit des elektrischen Effektes ist 10^7 mal so groß und heißt 1 Watt.

$$1 \text{ Watt} = 1 \text{ Volt-Ampère} = 10^7 \, C^2 GS^{-2} = 10 \text{ Sekundenerg}.$$

Nach früherem war 1 Sekundenmeterkilogramm $= 9{\cdot}81 \, . \, 10^7 \, C^2 GS^{-3}$
und 1 PS $= 75 \, . \, 9{\cdot}81 \, . \, 10^7 C^2 GS^{-3}$;
daraus folgt: 1 Sekundenmeterkilogramm $=$ 9·81 Volt-Ampère,
1 PS $=$ 736 „ „ .

Tafel.

Maße	Absolute und praktische Einheiten	Verhältnis zur absoluten *CGS* Einheit	Dimension	Zeichen
Fläche	Absolute Einheit	1	C^2	cm^2
Rauminhalt	Absolute Einheit	1	C^3	cm^3
Geschwindigkeit	Absulute Einheit	1	CS^{-1}	v
Beschleunigung	Absolute Einheit	1	CS^{-2}	g
Kraft	1 Dyn	1	CGS^{-2}	p
Arbeit	1 Erg	1	C^2GS^{-2}	ps
Effekt	1 Sekundenerg	1	C^2GS^{-3}	$\frac{ps}{t}$
—	1 Sekundenmeterkilogramm	981.10^5	C^2GS^{-3}	mkg
—	1 *PS* (deutsch)	736.10^7	C^2GS^{-3}	PS
—	1 *HP* (englisch)	746.10^7	C^2GS^{-3}	HP
Wärmeäquivalent	Absolute Einheit	1	C^2S^{-2}	E
Polstärke	Absolute Einheit	1	$C^{3/2}G^{1/2}S^{-1}$	μ
Stromstärke	Absolute Einheit	1	$C^{1/2}G^{1/2}S^{-1}$	
—	1 Megampère	10^5	$C^{1/2}G^{1/2}S^{-1}$	
—	1 Ampére	10^{-1}	$C^{1/2}G^{1/2}S^{-1}$	A
—	1 Microampére	10^{-7}	$C^{1/2}G^{1/2}S^{-1}$	
Elektricitätsmenge	Absolute Einheit	1	$C^{1/2}G^{1/2}$	
—	1 Megacoulomb	10^5	$C^{1/2}G^{1/2}$	
—	1 Coulomb	10^{-1}	$C^{1/2}G^{1/2}$	Cb
—	1 Microcoulomb	10^{-7}	$C^{1/2}G^{1/2}$	
Elektromotorische Kraft	Absolute Einheit	1	$C^{3/2}G^{1/2}S^{-2}$	
—	1 Megavolt	10^{14}	$C^{3/2}G^{1/2}S^{-2}$	
—	1 Volt	10^8	$C^{3/2}G^{1/2}S^{-2}$	V
—	1 Microvolt	10^2	$C^{3/2}G^{1/2}S^{-2}$	
Induktionscoefficient	1 Henry	10^9	C	M u. L
Widerstand	Absolute Einheit	1	CS^{-1}	
—	1 Megohm	10^{15}	CS^{-1}	
—	1 Ohm	10^9	CS^{-1}	Ω
—	1 Microohm	10^3	CS^{-1}	
Kapacität	Absolute Einheit	1	$C^{-1}S^2$	
—	1 Megafardd	10^{-3}	$C^{-1}S^2$	
—	1 Farad	10^{-9}	$C^{-1}S^2$	Φ
—	1 Microfarad	10^{-15}	$C^{-1}S^2$	
Elektrische Arbeit	Absolute Einheit	1	C^2GS^{-2}	
—	1 Joule	10^7	C^2GS^{-2}	VCb
Elektrischer Effekt	Absolute Einheit	1	C^2GS^{-3}	
—	1 Watt	10^7	C^2GS^{-3}	VA

Symbole der physikalischen Quantitäten und abgekürzte Bezeichnungen für die Einheiten. Empfohlen von der Kommission für die Benennungen aus der Kammer der Delegirten des internationalen Congresses der Elektrotechniker von 1893 in Chicago.[1])

Physikalische Quantitäten	Symbol	Definitions-Gleichung	Dimension der physikalischen Quantitäten	Namen der *CGS* Einheiten	Abkürzungen für die *CGS* Einheiten	Praktische Einheiten	Abkürzungen für die prakt. Einheiten
Fundamentale.							
Länge	L, l	—	L	Centimeter	*cm*	Meter	*m*
Maße	M	—	M	Grammmasse	*g*	Kilogrammmasse	*kg*
Zeit	T, t	—	T	Sekunde	*s*	Minute, Stunde	*m; h*
Geometrische.							
Fläche	S, s	$S = L\ L$	L^2	Quadratcentimeter	cm^2	Quadratmeter	m^2
Volumen	V	$V = L.L.L$	L^3	Cubikcentimeter	cm^3	Cubikmeter	m^3
Winkel	α, β	$\alpha = \frac{\text{Bogen}}{\text{Radius}}$	eine Zahl	Radian		Grad, Minute, Sekunde, Meridiangrad	
Mechanische.							
Geschwindigkeit	v	$v = \frac{L}{T}$	LT^{-1}	Centimeter i. d. Sek.	cm/s	Meter i. d. Sek.	m/s
Winkelgeschwindigkeit	ω	$\omega = \frac{v}{L}$	T^{-1}	Radian i. d. Sek.		Touren i. d. Min.	t/m
Beschleunigung	a	$a = \frac{v}{T}$	LT^{-2}	Cm. i. d. Sek. i. d. Sek.	cm/s^2	Meter i. d. S. i. d. S.	m/s^2
Kraft	F	$F = M.A$	LMT^{-2}	Dyne	dyne	Gramm; Kilgr.	$g^*; kg^*$
Arbeit	W	$W = F.L$	L^2MT^{-2}	Erg	erg	Meterkilogr.	*kgm*
Effekt (Leistung)	P	$P = W/T$	L^2MT^{-3}	Erg i. d. S.	erg/*s*	Sekundenmeterkilogr.	*kgm/s*
Druck	p	$p = F/S$	$L^{-1}MT^{-2}$	Dyne auf das cm^2	dyne/cm^2	Kg. auf das cm^2	kg/cm^2
Trägheits-Moment	K	$K = M.L^2$	L^2M	Grammmasse $- cm^2$	$g - cm^2$		
Magnetische.							
Polstärke	m	$F = m^2/L^2$	$L^{3/2}M^{1/2}T^{-1}$	Die magnetischen und elektromagnetischen *CGS* Einheiten haben keinen besonderen Namen erhalten. Man bezeichnet sie, indem man der Formel die Benennung: *CGS* Einheiten hinzugefügt.	Keine Abkürzungen	Keine besonderen praktischen Abkürzungen	Keine Abkürzungen
Magn. Moment	$\mathfrak{M}$	$\mathfrak{M} = m.l$	$L^{5/2}M^{1/2}T^{-1}$				
Mag Intensität	$\mathfrak{J}$	$\mathfrak{J} = \mathfrak{M}/V$	$\bar{L}^{1/2}M^{1/2}T^{-1}$				
Feldintensität	$\mathfrak{H}$	$\mathfrak{H} = F/m$	$\bar{L}^{1/2}M^{1/2}T^{-1}$				
Mag. Kraftfluss	Φ	$\Phi = H.S$	$L^{3/2}M^{1/2}T^{-1}$				
Magnetische Induktion	$\mathfrak{B}$	$\mathfrak{B} = \mu\,\mathfrak{H}$	$\bar{L}^{1/2}M^{1/2}T^{-1}$				

[1]) Elektrotechnischo Rundschau, 1894, Nr. 3, Seite 27.

Physikalische Quantitäten	Symbol	Definitions-Gleichung	Dimension der physikalischen Quantitäten	Namen der CGS Einheiten	Abkürzungen für die CGS Einheiten	Praktische Einheiten	Abkürzungen für die prakt. Einheiten
Magnetische.							
Magn. Permeabilität	μ	$\mu = \mathfrak{B}/\mathfrak{H}$	eine Zahl	Die magnetischen und elektromagnetischen CGS Einheiten haben keinen besonderen Namen erhalten. Man bezeichnet sie, indem man der Formel die Benennung: CGS Einheiten hinzufügt.	Keine Abkürzungen	Keine besonderen praktischen Abkürzungen	Keine Abkürzungen
Magn. Aufnahmefähigkeit	x	$x = \mathfrak{J}/\mathfrak{H}$	eine Zahl				
Magn. Reluctivität	ν	$\nu = \frac{1}{\mu}$	eine Zahl				
Mag. Widerstand	R	$R = \gamma \frac{L}{S}$	L^{-1}				
Elektromagnetische.							
Widerstand	R, r	$R = E/J$	LT^{-1}			Ohm	ohm
Leitungsfähigkeit	G	$G = l/R$	$L^{-1}T$			Mho	mho
Elektromotorische Kraft	E, e	$E = R.J$	$L^{3/2}M^{1/2}T^{-2}$			Volt	v
Potendialdifferenz	U, u	$U = R.J$	—			—	—
Stromintensität	I, i	$J = E/R$	$L^{1/2}M^{1/2}T^{-1}$			Ampère	a
Elektritätsmenge	Q,q	$Q = J.T$	$L^{1/2}M^{1/2}$			Coulomb; Ampèrestunde	e;$A-h$
Kapacität	C, c	$C = Q/E$	$L^{-1}T^2$			Farad	F
Elektrische Arbeit	W	$W = EJT$	L^2MT^{-2}			Joule; Wattstunde	J;$W-h$
Elektrischer Effekt	P	$P = EJ$	L^2MT^{-1}			Watt; Kilowatt	w; kw
Specifischer Widerstand	ρ	$\rho = R/SL$	L^2T^{-1}			Ohm-Centimeter	ohm-cm
Specifische Leitungsfähigkeit	γ	$\gamma = l/\rho$	$L^{-2}T$			—	—
Induktionscoëfficient	L, l	$L = \Phi/l$	L			Henry	—
Magnetisirende Kraft	$\mathfrak{H}$	$\mathfrak{H} = 4\pi Nl/L$	$L^{-1}M^{1/2}T^{-1}$			—	—
Magnetomotorische Kraft	$\mathfrak{F}$	$\mathfrak{F} = 4\pi Nl$	$L^{3/2}M^{1/2}T^{-1}$			Ampère-Tour	$A-t$

II. Abschnitt.

Messungen.

I. Kapitel.

Die Gesetze der Stromverzweigung.

68. Erstes Gesetz von Kirchhoff. An jedem Orte, an welchem mehrere Drähte zusammenstoßen, muss die Summe aller Stromstärken (Intensitäten) gleich Null sein.

An einem Orte solcher Art fließt ebensoviel Elektricität zu als ab, denn sonst müsste dort eine Anhäufung von Elektricität stattfinden.

69. Zweites Gesetz von Kirchhoff. Bildet man in einem geschlossenen, verzweigten Stromkreise die Summe der Produkte aus Stromstärke und Widerstand für jeden einzelnen Draht, so gibt die Summe dieser Produkte die elektromotorische Kraft des Stromkreises an.

Summe aller $A \times O = V =$ elektromot. Kraft des Stromkreises.

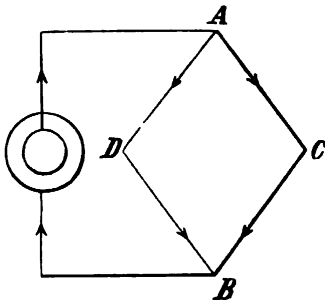


Fig. 67.

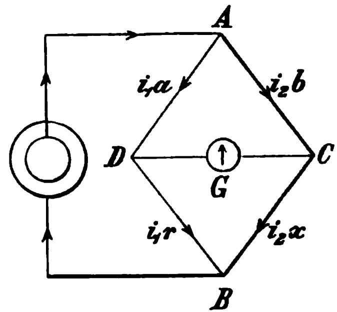


Fig. 68.

70. Einfache Stromverzweigung, Fig. 67.

$$\text{Stromstärke in } ACB = \frac{\text{Spannungsdifferenz } A - B}{\text{Widerstand } ACB},$$

$$\text{Stromstärke in } ADB = \frac{\text{Spannungsdifferenz } A - B}{\text{Widerstand } ADB}.$$

71. Die Brückenmethode von Wheatstone, Fig. 68.

$$\text{Stromstärke in } AD = \frac{\text{Spannungsdifferenz } A - D}{\text{Widerstand } AD},$$

$$\text{Stromstärke in } AC = \frac{\text{Spannungsdifferenz } A - C}{\text{Widerstand } AC},$$

$$\text{Stromstärke in } DB = \frac{\text{Spannungsdifferenz } D - B}{\text{Widerstand } DB},$$

$$\text{Stromstärke in } CB = \frac{\text{Spannungsdifferenz } C - B}{\text{Widerstand } CB},$$

$$\text{Stromstärke in } CD = \frac{\text{Spannungsdifferenz } C - D}{\text{Widerstand } CD}$$

Für den Fall, dass durch die sogenannte Brücke kein Strom geht, sind, Fig. 68, die Stromstärke in AD = der Stromstärke in $DB = i_1$, Stromstärke in AC = der Stromstärke in $BC = i_2$ und (wenn a, b, r und x die Widerstände der Stromzweige AD, AC, DB und BC bedeuten):

$x i_2$ (= Spannungsdifferenz $B - C$) $= r i_1$ (= Spannungsdifferenz $B - D$).
$b i_2$ (= Spannungsdifferenz $A - C$) $= a i_1$ (= Spannungsdifferenz $A - D$).

Also:

$$x i_2 = r i_1,$$
$$b i_2 = a i_1;$$

dividirt man diese beiden Gleichungen durcheinander, so erhält man:

$$\frac{x}{b} = \frac{r}{a} \text{ oder } x = \frac{b}{a} . r .$$

II. Kapitel.

Messmethoden und Messinstrumente.

72. Galvanometer, einfachste Messmethode. Zur Messung der Konstanten des elektrischen Stromes (Stromstärke, Spannung und Widerstand) dienen die sogenannten Galvanometer, deren Princip in § 37 erläutert wurde.

Als Beispiel einer einfachsten Messmethode sei hier die Widerstandsmessung durch Vertauschung im einfachen Stromkreise angeführt. Diese Methode besteht darin, dass man, Fig. 69, den zu messenden Widerstand W, einen Rheostat R oder einen Widerstandskasten, welcher gestattet, die verschiedensten Widerstände einzuschalten, ein Galvanometer G und eine konstante Batterie A zu einem Stromkreise vereint und:

1. Die Ablenkung am Galvanometer beobachtet, wenn am Rheostat kein Widerstand eingeschaltet ist;

2. den Widerstand W ausschaltet, die Punkte m und n durch einen Leiter von ganz geringem Widerstande verbindet (kurzschließt), und dafür so viel Rheostatwiderstand einschaltet, bis das Galvanometer wieder dieselbe Ablenkung der Nadel zeigt. Es ist dann der zu messende Widerstand W, dem zuletzt eingeschalteten Rheostatwiderstande gleich. Der Widerstand W lässt sich auch durch Rechnung bestimmen, wenn der specifische Widerstand des Materiales bekannt ist.

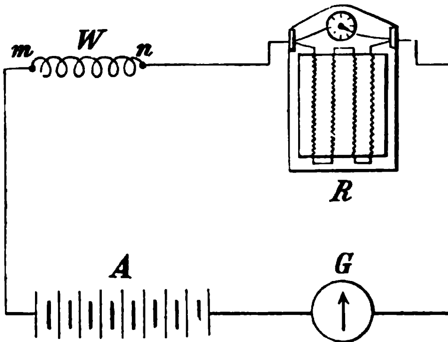


Fig. 69.

Aus dem Ohm'schen Gesetze ergibt sich immer eine Konstante, wenn die beiden anderen bekannt sind.

Die I. Form $A = \frac{V}{O}$ berechnet die Stromstärke aus V und O,

„ II. „ $O = \frac{V}{A}$ „ den Widerstand „ V und A,

„ III. „ $V = A \cdot O$ „ die Spannung „ A und O.

73. Eintheilung der Messinstrumente. Die bei den Messmethoden angewendeten Instrumente lassen sich in 2 Gruppen theilen:

I. Wissenschaftliche und technische Galvanometer (Universalgalvanometer, Torsionsgalvanometer, Elektrodynamometer, Messbrücke für sehr kleine Widerstände, Spiegelgalvanometer u. s. w).

II. Industrielle Galvanometer (Ampèremesser, Voltmesser, Ohmmesser, Coulombmesser, Voltampèremesser, Voltcoulombmesser).

III. Elektrische Arbeitsmesser (Elektricitätszähler).

I. Wissenschaftliche und technische Galvanometer.

74. Das Universalgalvanometer von Siemens und Halske ist das gebräuchlichste Universalmessinstrument und dient, seiner Bezeichnung entsprechend, zur Messung, beziehungsweise Vergleichung sämmtlicher Konstanten des elektrischen Stromes (Stromstärke, elektromot. Kraft, Widerstand).

Die wichtigsten Bestandtheile dieses in Fig. 70 abgebildeten Instrumentes sind die folgenden:

1. Das Galvanometergewinde *G* mit der astatischen Magnetnadel *ns* und der Hemmungen *h h* zu beiden Seiten der Nadel zur Begrenzung des Ausschlages.

2. Messingene Klötzchen bei *m*, *n*, *o*, *p* und I, II, III, IV und V, an welche die verschiedenen Widerstände angeschlossen sind.

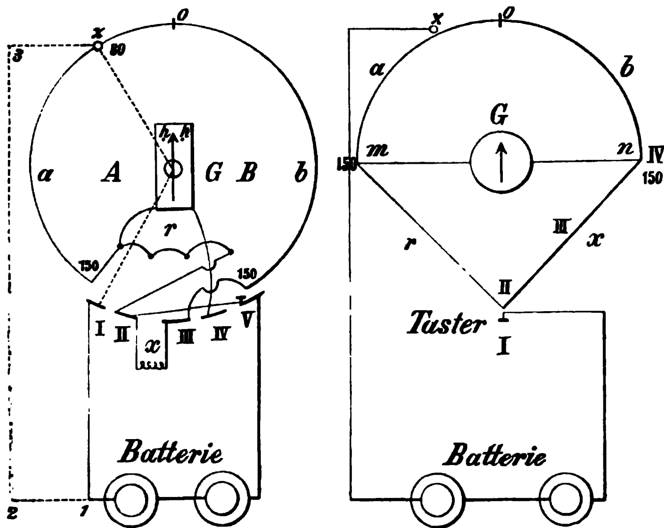


Fig. 70.

3. Eine kreisförmige Schieferplatte *a b*, mit einem 60° umfassenden Ausschnitte. Der Umfang (Peripherie) der Platte, 300° messend, enthält in einer Fuge den sogenannten Messdraht (Platindraht).

4. Eine hölzerne Scheibe unter der Schieferplatte *a b*, welche mit dem Galvanometergewinde in fester Verbindung steht. In der Nuth dieser Scheibe sind die Widerstände 1, 10 und 100 (oder 10, 100 und 1000) Ohm aufgewickelt.

5. Ein Centralzapfen, welcher als Drehungsachse des Instrumentes dient und mit 3 und 4 fest verbunden ist.

6. Ein Zeiger (Alhidade) *z*, drehbar um 5.

7. Ein Postament, bestehend aus einer grösseren kreisförmigen Scheibe mit 3 Stellschrauben.

8. Der Taster *T*, durch welchen die Batterie eingeschaltet werden kann.

Für sämmtliche Messungen erhält das Universalgalvanometer folgende Anfangsstellung:

1. Horizontalstellung mittelst der 3 Stellschrauben, die Mitte der Magnetnadel muss sich genau in der Mitte des Instrumentes befinden.

2. Drehung der Schiefertafel bis die Magnetnadel auf die Nullpunkte ihrer Theilung zeigt.

3. Einstellung des Zeigers *z* auf den Nullpunkt der Kreistheilung der Schieferplatte. Arbeitet man mit stärkeren Strömen, so verbindet man die Batterie anstatt mit I mit der Alhidade, um störende Einflüsse des Stromes auf die Magnetnadel zu vermeiden.

Die Schaltungen im Instrumente zeigen die Schemen, Fig. 70.

Zu dem Universalgalvanometer gehören weiters:

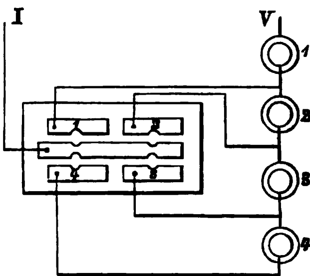
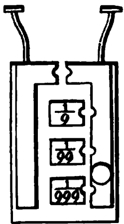


Fig. 71.

1. Ein Batteriewähler, Fig. 71, welcher gestattet, mehr oder weniger Elemente einzuschalten.

2. Ein Widerstandsstöpsel mit 0·1 Ohm; derselbe wird im Bedarfsfalle in die Öffnung 1 oder 10 gesteckt, je nachdem das Instrument die Vergleichswiderstände 1, 10, 100 oder 10, 100, 1000 Ohm besitzt.

3. Ein Widerstandsstöpsel mit 300 Ohm für die Oeffnung zwischen III und IV. Sein Zweck ist die Verminderung der Empfindlichkeit des Galvanometers bei der Messung der Widerstände von Elementen.


Fig. 72.

4. Ein Widerstandsstöpsel mit 1 Ohm; derselbe wird in dieselbe Oeffnung gesteckt, wie der Stöpsel mit 0·1 Ohm.

5. Ein Nebenschlusswiderstand mit $\frac{1}{9}$, $\frac{1}{99}$, $\frac{1}{999}$ Ohm, Fig. 72, zur Veränderung der Empfindlichkeit bei Strommessungen; derselbe wird an die Klemmen II und IV angeschraubt.

1. Wiederstandsmessung, Fig. 70.

Die Schaltung 1, 2, 3, *z* wird statt der Schaltung 1, *I*, G, *z* angewendet, wenn man mit stärkeren Strömen, welche die Magnetnadel beeinflussen, arbeitet. Die Verbindungen für die Widerstandsmessungen sind aus dem Schema Fig. 70 ersichtlich.

A) Messung von Drahtwiderständen.

a) Der zu messende Widerstand wird bei II und III (oder IV) eingeschaltet.

b) Die Pole der Messbatterie sind an die Klemmen I und II anzuschliessen.

c) Die Oeffnung zwischen III und IV ist zu stöpseln.

d) Eine der Oeffnungen 1, 10, 100 (oder 10, 100, 1000) wird geöffnet oder die Oeffnung 1 (oder 10) mit dem Vergleichswiderstande 0·1 oder 1 Ohm gestöpselt. Es wird jener Vergleichswiderstand gewählt, der dem zu messenden Widerstande vermuthlich am nächsten liegt.

e) Die Magnetnadel und der Zeiger werden auf ihren Nullpunkt eingestellt. Durch das Drücken auf den Taster *T*, Fig. 70, zeigt die Nadel einen Ausschlag, welcher durch das Verschieben des Zeigers *z* nach links oder rechts ausgeglichen wird. Da das Universalgalvanometer, wie Fig. 70 (rechts) deutlich zeigt, auf der in § 71 besprochenen Brückenmethode beruht, so gilt für dasselbe die dort abgeleitete Formel:

$$x = \frac{b}{a} \cdot r,$$

worin x = dem zu messenden Widerstande,
b = dem Widerstande des Messdrahtes auf der Seite b des Zeigers z, Fig. 70,
a = dem Widerstande des Messdrahtes auf der Seite a des Zeigers z,
r = dem gewählten Vergleichswiderstande. Anstatt der Widerstände a und b werden die Grade, über welche sich die Widerstände erstrecken, in die Formel eingesetzt, da der Messdraht überall denselben Durchmesser hat und demnach das Verhältnis der Widerstände $\left(\frac{b}{a}\right)$ = ist dem Verhältnisse der Grade $\left(\frac{b}{a}\right)$.

Mit Rücksichtnahme auf die letzte Bemerkung gestaltet sich die Formel $x = \frac{b}{a} r$ in dem, in der Fig. 70 gegebenen, Falle folgend:

$$x = \frac{150 + 30}{150 - 30} \cdot r = \frac{180}{120} = 1·5\ r.$$

Beispiel: Der Zeiger befinde sich am Theilstriche 50 auf der *A* Seite des Instrumentes bei geöffnetem 10 Stöpsel. Wie groß ist der zu messende Widerstand? ($r = 10$)

$$x = \frac{b}{a} \cdot r = \frac{150 + 50}{150 - 50} \cdot r = \frac{200}{100} \cdot r = 2\,r = 2 \times 10 = 20.$$

Beispiel: Der Zeiger befindet sich am Theilstriche 26,5 auf der *B*-Seite des Instrumentes bei gestöpselten 1 Ohm-Stöpsel. Wie groß ist der zu messende Widerstand?

$$x = \frac{b}{a} \cdot r = \frac{150 - 26{\cdot}5}{150 + 26{\cdot}5} \cdot r = \frac{123{\cdot}5}{176{\cdot}5} \cdot r = 0{\cdot}7\, r = 0{\cdot}7.1 = 0{\cdot}7 \text{ Ohm.}$$

Bemerkungen.

1. Je nachdem der positive oder negative Pol der Batterie mit der Klemme I verbunden ist, muss man den Zeiger in der Richtung des Ausschlages der Magnetnadel oder in der entgegengesetzten Richtung verschieben, um die Nadel nach erfolgtem Ausschlage wieder in die Nullstellung zurückzubringen.

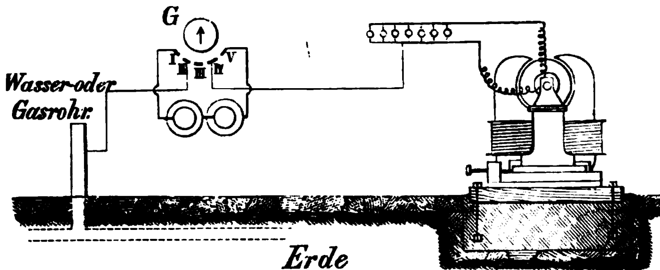


Fig. 73.

2. Die oben bei dem Anschlusse der Batterie an das Klötzchen I, Fig. 70, erwähnte störende Einwirkung starker Ströme ist dann vorhanden, wenn die Magnetnadel einen Ausschlag gibt, trotzdem bei einer Widerstandsmessung die Nullstellung der Magnetnadel schon erreicht war und nach Ziehen des Stöpsels zwischen III und IV der Taster wieder gedrückt wird.

3. Bei Einstellungen des Zeigers z in der Nähe der Null, sind die Angaben des Instrumentes am genauesten. Diese Einstellungen werden erreicht, wenn der zu messende Widerstand dem Vergleichswiderstande nahezu gleich kommt. Ist dies nicht der Fall, so kann man den zu messenden Widerstand durch einen bekannten Widerstand (Normalwiderstand) einem Vergleichswiderstande nahe gleich machen und braucht dann nur von dem, aus der Tafel zum Universalgalvanometer oder aus der Formel für dieses Instrument ($x = \frac{b}{a} r$), sich ergebenden Widerstande den Normalwiderstand abzuziehen. Sollte z. B. ein Widerstand von 6 Ohm gemessen werden, dann zieht man den Stöpsel 10 (Vergleichswiderstand 10) und schaltet zu dem zu messenden Widerstande

von 6 Ohm bekannte 4 Ohm. Stellt man nun die Magnetnadel auf ihren Nullpunkt, so muss auch der Zeiger *z* auf *0* stehen. Nach der Tafel ist dann der gesammte Widerstand = 10 Ohm und der zu messende Widerstand = 10 — 4 = 6 Ohm.

4. Die Anordnung der Messung fehlerhafter Leitungen zeigt Fig. 73; *G* deutet das Universalgalvanometer an. Bei dieser Messung kommt es vor, dass aus der Leitung und der Erde ein Strom durch das Instrument fliesst (das Kupfer der Leitung und das Eisen der Erde bilden z. B. ein Element) und die Nadel einen Ausschlag gibt. In diesem Falle macht man am besten zwei Messungen mit entgegengesetzten Batteriepolen und nimmt aus beiden Resultaten das Mittel, sobald die Nadel mit und ohne Batteriestrom dieselbe Ablenkung zeigt.

5. In der Nähe des Galvanometers bewirken Ströme und bewegte Eisenmassen einen Ausschlag der Nadel; dieser Umstand ist sowohl bei Aufstellung des Instrumentes, als auch bei den Messungen selbst zu berücksichtigen, denn schon die kleinsten Eisenbestandtheile, die der Messende mit sich trägt, bewirken eine Störung.

2. Bestimmung des Widerstandes von Elementen und Batterien.

Die Schaltung ist wieder die in der Fig. 70 skizzirte; anstatt des Widerstandes *x* wird das Element oder die Batterie eingeschaltet.

Ist der Widerstand einer Batterie zu messen, so schaltet man die Elemente derselben in 2 Hälften gegen einander; dann zeigt die Nadel ohne Drücken des Tasters nur einen geringen Ausschlag.

Bei Batterien mit einer ungeraden Zahl von Elementen ist der eine Theil der gegeneinander zu schaltenden Elemente um ein Element stärker, als der andere. In diesem Falle, sowie bei der Messung eines einzelnen Elementes, erhält man einen zu grossen Ausschlag der Nadel und ersetzt deshalb den Stöpsel zwischen III und IV durch den Widerstandsstöpsel von 300 Ohm. Legt sich auch dann die Nadel gegen die Hemmungen *h*, *h* Fig. 70, so dreht man das Galvanometer der Nadel nach, bis sie frei ist. Dasselbe wird durch die Annäherung eines Magnetes erreicht.

Der Ausschlag der Nadel kann beliebig sein. Man verschiebt den Zeiger *z*, Fig. 70, so lange, bis mit und ohne Drücken des Tasters der Ausschlag derselbe bleibt; der Widerstand wird dann auf dieselbe Art berechnet, wie der eines Drahtes.

Bei sämmtlichen Widerstandsmessungen hängt die Genauigkeit der Messung von der Messbatterie ab. Die Messbatterie muss stark genug sein, um bei geringer Verschiebung des Zeigers einen merklichen Ausschlag hervorzurufen.

Falls nicht genügend Elemente zur Verfügung stehen, schwingt die Nadel bei der Messung grosser Widerstände träge und dann empfiehlt es sich, nach erreichter Nullstellung derselben mit dem Zeiger von seiner Stellung aus gleich weit nach beiden Seiten zu gehen und zu beobachten, ob die Nadel den entgegengesetzten Bewegungen des Zeigers folgt. Bei erreichter Nullstellung der Nadel erhält man durch wiederholtes Drücken des Tasters keinen Ausschlag, wenn der zu messende Widerstand induktionsfrei ist; wird aber in dem zu messenden Widerstande, der z. B. aus vielen neben- und übereinander gewickelten isolirten Drähten besteht (Magnetbewickelung einer Dynamo u. s. w.), durch das Schliessen und Oeffnen der Messbatterie ein Strom inducirt, so erhält man durch das Drücken und Loslassen des Tasters je einen der Stärke des Induktionsstromes entsprechenden Ausschlag; in diesem Falle muss man den Messstrom während der ganzen Messung geschlossen erhalten und den Zeiger sehr langsam verschieben um Induktionströme thunlichst zu vermeiden.

3. Vergleichung zweier elektromotorischer Kräfte E_1 und E_2.

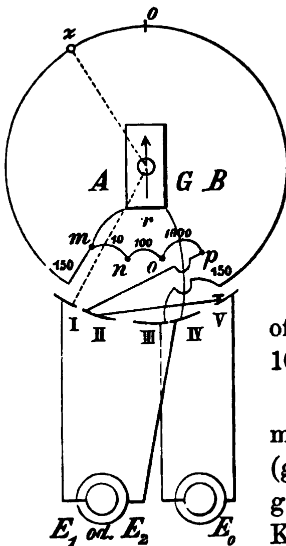
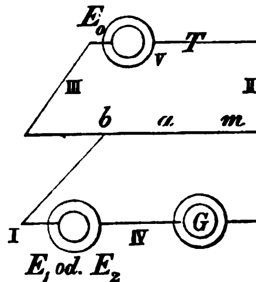


Fig. 74.



1. Die Schaltung für diese Messung ist schematisch in Fig. 74 dargestellt.

2. Nadel und Zeiger werden auf Null eingestellt.

3. Die Oeffnung zwischen III und IV ist offen, die Oeffnungen 1, 10, 100 (oder 10, 100, 1000) sind gestöpselt.

4. Ein Normalelement von grosser elektromotorischer Kraft E_0 und geringem Widerstande (gr. Bunsen-Element) oder mehrere parallel geschaltete Daniell-Elemente werden an die Klemmen III und V und eines der dazu vergleichenden Elemente (E_1 oder E_2), z. B. E_1, an die Klemmen I und IV angeschlossen. Man sucht die Stellung des Zeigers, bei welcher die Nadel nach Drücken des Tasters T auf Null bleibt; diese Stellung sei z. B. bei 20 Graden auf der A-Seite erreicht.

Nun schaltet man statt des Elementes E_1 das Element E_2 an die Klemmen I und IV und führt dieselbe Messung aus, die neugefundene Stellung sei bei 30 Graden auf der A-Seite gelegen. Dann ist

$$E_1 = \frac{150-20}{150-30} E_2.$$

Für dieselben Ablesungen auf der B-Seite wechseln die Vorzeichen der abgelesenen Grade; für diesen Fall gilt demnach die Gleichung:

$$E_1 = \frac{150+20}{150+30} E_2.$$

4. Strommessung.

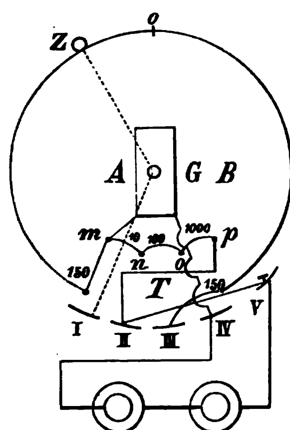
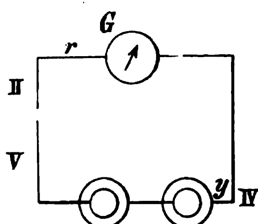


Fig. 75.



1. Die Schaltung zeigt Fig. 75.

2. Nadel und Zeiger sind auf Null zu bringen.

3. Die Oeffnung zwischen III und IV ist offen, die Löcher 1, 10, 100 sind gestöpelt.

4. Die beiden Enden des Stromkreises, dessen Stromstärke zu messen ist, werden an IV und V angeschlossen.

Schlägt die Nadel aus, so dreht man das Galvanometer derselben nach, ohne den Zeiger z zu verstellen, so lange bis die Nadel auf Null steht; zeigt der Zeiger jetzt auf 30°, so misst den Strom das Verhältnis $\frac{bc}{ac} = v$ im rechtwinkeligem Dreiecke abc, Fig. 76, wenn der $\sphericalangle\, a$ desselben $= 30°$ beträgt. Die Stromstärke J ist dem Verhältnisse $v \times$ Reduktionsfaktor gleich oder $J = v \times$ Reductionsfaktor. Den Reductionsfaktor berechnet man aus der letzten Gleichung:

$$\text{Reduktionsfaktor} = \frac{J}{v}.$$

Fig. 76.

Die Größen J und v ergeben sich durch Versuche, indem man das Instrument in einen Stromkreis von bekannter elektromotorischer Kraft E und

bekanntem Widerstande W einschaltet und den bei der Endstellung eingestellten Winkel, er sei z. B. 45°, misst. Der Widerstand des Instrumentes sei W_1.

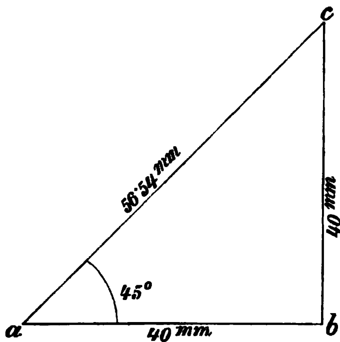


Fig. 77.

Es ist dann

$$J = \frac{E}{W + W_1} \text{ und } v = \frac{b\,c}{a\,c}.$$

Bei 45°, Fig. 77, messen z. B. $b\,c = 40$ *mm*, $a\,c = 56{\cdot}54$ *mm*, dann ergibt sich für v der Wert:

$$v = \frac{40}{56{\cdot}54} = 0{\cdot}707.$$

75. Einfachste Messbrücke.

Für oberflächliche Widerstandsmessungen benützt der Installateur und Monteur einen auf einem Brettchen befestigten Messdraht $C\,D$, Fig. 78 a, sammt dem Zeiger z, ein Galvanometer G, einen dem zu messenden Widerstande ungefähr gleichen Vergleichswiderstand W und Elemente E und schaltet Messdraht, Galvanometer, Vergleichswiderstand, zu messenden Widerstand und Elemente ebenfalls nach dem Schema der Brückenmethode (§71).

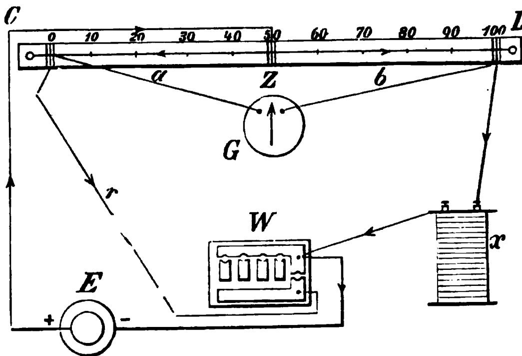


Fig. 78 a.

Die Rolle x deutet den zu messenden Widerstand an. Die Messung wird bei sämmtlichen Instrumenten, welche das Schema der Brückenmethode befolgen, in derselben Weise vorgenommen wie bei dem Universalgalvanometer von Siemens & Halske.

Die obigen Vergleichswiderstände wurden zuerst von Werner von Siemens als sogenannte Widerstandskasten (Stöpselrheostate) ausgeführt, Fig. 78 b und 78 c. Fig. 78 b stellt einen Widerstandskasten in äußerer Ansicht, Fig. 78 c mit aufgehobenem Deckel dar. Auf der Innenfläche des Deckels sind die Widerstände in Form von Drahtrollen r, Fig. 78 c, befestigt. Diese Widerstände bestehen zumeist aus isolirten Neusilber-, Rheotan- oder Konstantandrähten. Die Enden der

Drahtrollen r, Fig. 78c, sind an die Messingklötzchen m_1 und m_2 u. s. w. angeschlossen. Je zwei Messingklötzchen z. B. m_1, und m_2, Fig. 78 b, sind von einander durch einen Luftzwischenraum getrennt, welcher durch die Stöpsel s überbrückt wird. Die Stöpsel s sind in die Oeffnungen (Bohrungen) zwischen den Klötzchen m_1, m_2 u. s. w. wohl eingepasst. An den Klemmen k_1 und k_2 wird der Kasten in einen beliebigen Stromkreis eingeschaltet. Sind sämmtliche Stöpsel eingesetzt, dann fließt der Strom von der einen Klemme z. B. k_1 nach der Klemme k_2 durch die Messingklötzchen und Kontakte der Stöpsel. Man sagt in diesem

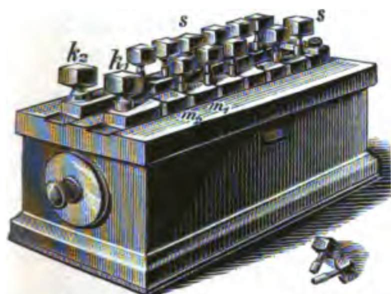


Fig. 78 b.



Fig. 78 c.

Falle der Widerstandskasten ist kurz geschlossen, weil jetzt nur der zu vernachlässigende geringe Widerstand der Messingklötzchen eingeschaltet erscheint. Zieht man irgend einen Stöpsel, so schaltet man dadurch den an die betreffenden Klötzchen angeschlossenen Widerstand ein. In der Regel sind zwischen den einzelnen Klötzchen die Widerstände von 0·1, 0·2, 0·2, 0·5, 1, 2, 2, 5, 10, 20, 20 und 50 Ohm angeschlossen, so dass man durch das Herausziehen der entsprechenden Stöpsel die Widerstände von 0·1 bis 111 Ohm zur Verfügung hat. Solche Widerstandskasten werden bis zu 100000 und mehr Ohm ausgeführt.

76. Das Torsionsgalvanometer von Siemens & Halske ist für direkte Messungen der Spannungsdifferenzen vorzüglich geeignet; indirekt lassen sich mit diesem Instrumente auch Stromstärken, elektromotorische Kräfte und Widerstände bestimmen.

Zu den wichtigsten Bestandtheilen des Torsionsgalvanometers, Fig. 79, zählen:

1. Das Galvanometergewinde *G* und der Glockenmagnet *M*, Fig. 80, ein an beiden Seiten aufgeschlitzter Hohlcylinder aus Stahl. An dem Glockenmagnete ist oben ein dünnes Stäbchen *t* mit einem messingenem Scheibchen *s* angebracht. An letzterem sind befestigt:

a) Ein Coconfaden.

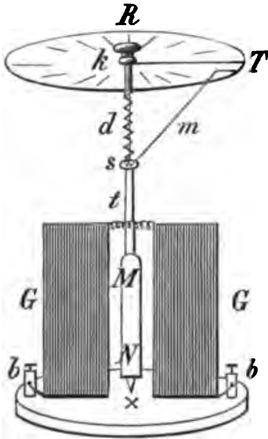


Fig. 79.

b) Eine den Coconfaden umschließende Drahtspirale *d*, welche andererseits an das Knöpfchen *k* angeschlossen ist.

c) Der Magnetzeiger *m*, dessen Drehung auf einer Kreistheilung abgelesen werden kann, mit Hemmungen zu beiden Seiten des Nullpunktes.

2. Das Knöpfchen *k* ist fest verbunden mit dem Torsionszeiger *T*.

3. Das Brettchen *b*, welches das Galvanometergewinde trägt; dasselbe ist um einen senkrechten Zapfen, der auf einem dreiarmigen Fussgestelle steht, drehbar. Auf diesem Brettchen steht auch das Gehäuse des Galvanometers mit der Kreistheilung *R*.

Aufstellung.



Fig. 80.

1. Das Torsionsgalvanometer wird entfernt von der Dynamomaschine und den Hauptleitungen aufgestellt.

2. Der mit *N* bezeichnete Pol muss ungefähr nach Norden gerichtet werden.

3. Die in das Holz führende Schraube wird gelöst und das Instrument mit den drei Stellschrauben so eingestellt, dass die Spitze, die am unteren Ende des Magnetes hervorragt, über dem Schnittpunkte des darunter angebrachten Kreuzes hängt.

4. Der Torsionszeiger *T* wird mit der grossen randrirten Schraube *R* auf den Nullpunkt der Theilung eingestellt.

5. Die messingene Schraube am Fussgestell wird gelöst und die Holzplatte solange gedreht, bis der am Magnete befestigte Zeiger (Magnetzeiger *m*) auf Null steht. Die Spitze des Magnetes soll sich etwa $^1/_2$ *mm* über dem Schnittpunkte des Kreuzes befinden.

Messung.

In Fig. 81 ist die Schaltung des Instrumentes zur Messung von Spannungen (Spannungsdifferenzen) zwischen zwei Punkten *a* und *b* einer Hauptleitung dargestellt.

Der Widerstandskasten hat den Zweck, jeder Messung durch Vorschaltung von Widerständen (9, 99, 999, 9999 Ohm) die passende Empfindlichkeit zu geben.

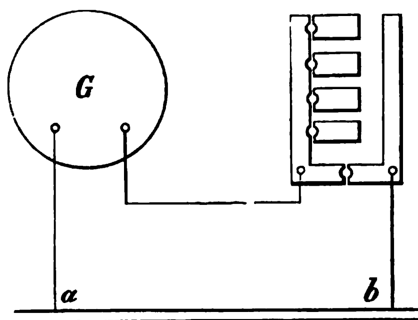


Fig. 81.

Bei der Vorschaltung der Widerstände des Widerstandskastens wählt man immer zuerst die grössten Widerstände, bis man einen passenden Ausschlag erhält.

Die Leitung muss so angelegt werden, dass der Magnetzeiger vom Strome nach steigenden Zahlen getrieben wird.

Bevor man nicht von der richtigen Schaltung des Instrumentes überzeugt ist, darf dasselbe nicht eingeschaltet werden.

Ist der gewählte Widerstand zu klein, so wird der das Galvanometer durchfließende Strom zu groß sein und das Instrument selbst ungenau oder gar unbrauchbar werden.

Sobald die Nullstellung erreicht und der Stromkreis geschlossen ist, lenkt der Strom den Glockenmagnet ab, der damit fest verbundene Magnetzeiger gibt einen Ausschlag, welcher durch die Drehung der Schraube *R* und des Knopfes *k* mit dem Torsionszeiger ausgeglichen wird. Die Torsionsgalvanometer sind so eingerichtet (justirt), dass die Spannungsdifferenz bis auf Decimalstellen (bis auf das Komma) der Spannung in Volt gleich ist. Für genaue Messungen ist dem Instrumente eine Richtigstellungstafel (Correctionstafel) beigegeben. Ist z. B. die Richtigstellung für den in der Tafel angegebenen Winkel von $100^0 = -0{\cdot}3$ und die eingestellte Empfindlichkeit $1^0 = 0{\cdot}01$ Volt, so muss die gesuchte Spannung (Spannungsdifferenz) $= 0{\cdot}01\ (100 - 0{\cdot}3) = 0{\cdot}997$ Volt sein, wenn die Ablesung $= 100^0$ betrug.

Bei der Ablesung von $85{\cdot}3^0$ wrd in der Correctionstafel die Correction des diesem Winkel nächstliegenden (100^0, Correctur $= 0{\cdot}3$) genommen und somit ist die gesuchte Spannung $= 0{\cdot}01\ (85{\cdot}3 - 0{\cdot}3)$

= 0·85 Volt. Das Torsionsgalvanometer für stärkere Ströme hat den Widerstand von 1 Ohm (in Kupfer) und ist insbesondere für Ströme von mindestens 5 Ampère bestimmt. Der dazu gehörige Widerstandskasten enthält die Widerstände 9, 99, 999, 9999 Ohm (in Neusilber). Zusammengehörige Werte von gestöpselten Widerständen, Empfindlichkeiten und Bereiche der Messungen sind in der folgenden Tafel wiedergegeben.

Gestöpselter Widerstand	Empfindlichkeit	Bereich der Messung
0 Ohm	$1^0 = 0·001$ Volt	0·17 Volt
9 "	$1^0 = 0·01$ "	1·7 "
99 "	$1^0 = 0·1$ "	17 "
999 "	$1^0 = 1$ "	170 "
9999 "	$1^0 = 10$ "	1700 "

Beispiel: Bei dem Instrumente für stärkere Ströme sei die Ablesung 30^0, der gestöpselte Widerstand 99 Ohm (Empfindlichkeit $1^0 = 0·1$ Volt); wie groß ist die Spannungsdifferenz zwischen den 2 Punkten der eingeschalteten Leitung?

Dieselbe beträgt bei $1^0 = 0·1$ Volt,
folglich bei $30^0 = 30 \times 0·1 = 3$ Volt.

Das Instrument für schwächere Ströme hat den Widerstand von 100 Ohm (in Kupfer) und ist insbesondere für Ströme von mindestens 0·5 Ampère bestimmt. Der dazugehörige Widerstandskasten enthält die Widerstände 900, 9900 und 99900 Ohm (in Neusilber).

Die der Stöpselung obiger Widerstände entsprechenden Empfindlichkeiten und Bereiche der Messungen enthält die folgende Tafel.

Gestöpselter Widerstand	Empfindlichkeit	Bereich der Messung
0 Ohm	$1^0 = 0·01$ Volt	1·7 Volt
900 "	$1^0 = 0·1$ "	17 "
9900 "	$1^0 = 1·0$ "	170 "
99900 "	$1^0 = 10$ "	1700 "

Beispiel: Die Ablesung ergebe bei einer Spannungsmessung mit dem Instrumente für schwächere Ströme 50^0, der gestöpselte Widerstand sei 9900 Ohm (die Empfindlichkeit somit $1^0 = 1$ Volt); wie groß ist die Spannungsdifferenz zwischen den zwei Punkten des Leitungsnetzes?

50×1 Volt $= 50$ Volt.

Uebersicht der Messungen.

1. **Spannungsdifferenz.** Diese Messungen erfolgen in der in diesem § oben angegebenen Weise.

2. **Elektromotorische Kraft** E. Man bestimmt die Spannungsdifferenz an den Polen der Dynamo (Klemmenspannung) P, deren elektromotorische Kraft zu messen ist und berechnet das Produkt aus der Stromstärke J und dem Widerstande W der Maschine. Wird die Maschine von einem Motor betrieben (Stromerzeuger, Generator, primäre Maschine), so ergibt sich die elektromotorische Kraft nach der Formel:

$$E = P + J \,.\, W,$$

wird die Maschine von einem Strom getrieben (Triebmaschine, Kraftgeber, Elektromotor, sekundäre Maschine), so berechnet man die elektromotorische Kraft nach der Formel:

$$E = P - J \,.\, W.$$

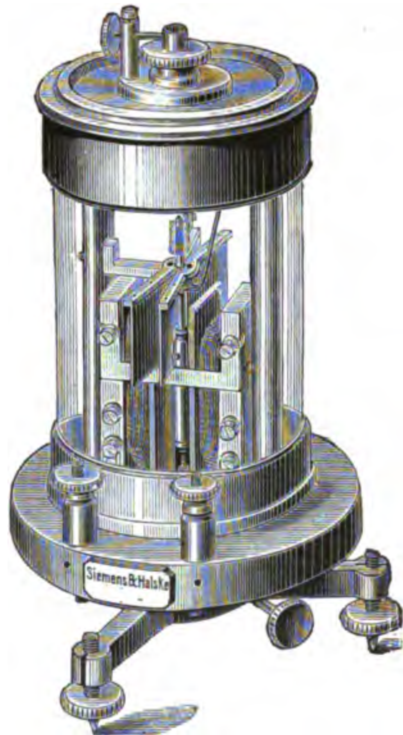


Fig. 82.

3. **Stromstärke.** Man misst die Spannungsdifferenz zwischen zwei Punkten eines bekannten Widerstandes. Die Stromstärke ergibt sich dann aus dem Ohm'schen Gesetze:

$$\text{Stromstärke} = \frac{\text{Spannungsdifferenz}}{\text{Widerstand}}.$$

Diese Methode bezeichnet man als ein indirektes Messverfahren, da die Stromstärke nicht unmittelbar (direkt), sondern aus der Spannung und dem Widerstande bestimmt wird.

4. **Widerstand.** Der Widerstand einer, vom Strome durchflossenen Leitung lässt sich mit dem Torsionsgalvanometer messen, wenn in dem Leiter keine elektromotorische Kraft herrscht, in letzterem Falle erhält man bloss den sogenannten „scheinbaren Widerstand“, d. i. der Widerstand, welcher statt des Leiters in den Stromkreis eingeschaltet, denselben so ersetzen würde, dass sich im Stromkreise

nichts ändert. Der Widerstand im Allgemeinen (Widerstand und scheinbarer Widerstand) folgt aus dem Ohm'schen Gesetze:

$$O = \frac{V}{A}.$$

Konstruktionen. Die Firma Siemens & Halske führt dieses Instrument in 2 Formen aus, in der stehenden und liegenden Form. Das bisher über das Torsionsgalvanometer angeführte, beschränkt sich in einigen Punkten auf das stehende Instrument. Bei dem liegenden Galvanometer bewegt sich der Glockenmagnet um eine horizontale Achse im magnetischen Meridiane.

Unter dem magnetischen Meridiane versteht man eine, durch die Verbindungslinie der beiden Pole eines Magnetes (seine magnetische Achse) gelegte senkrechte Ebene.

In Fig. 82 ist das stehende Torsionsgalvanometer von Siemens & Halske perspektivisch wiedergegeben.

77. Das Elektrodynamometer von Siemens & Halske ist unabhängig von magnetischen Störungen und von der Einwirkung des Erdmagnetismus; die Messung mit diesem Instrumente kann demnach in unmittelbarer Nähe von Dynamomaschinen vorgenommen werden und die Zurechtfindung nach dem magnetischen Meridiane entfällt.

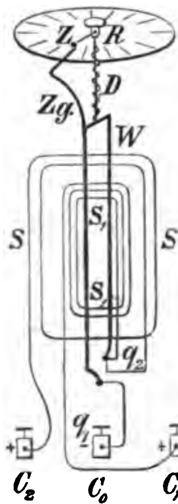


Fig. 83.

Das Elektrodynamometer beruht auf dem Principe des in Fig. 27 dargestellten Gehänges und ist ganz besonders zur Messung starker Ströme geeignet.

Die wichtigsten Bestandtheile dieses in der Fig. 83 schematisch und in Fig. 84 perspektivisch abgebildeten Strommessers sind folgende:

1. Ein beweglicher Stromkreis, bestehend aus einer dicken Windung *W*, Fig. 83. Diese Windung trägt den Gewindezeiger *Zg* und erscheint an einem Coconfaden aufgehängt, welchen eine Drahtspirale (Torsionsspirale) *D* umgibt, die ebenfalls an dieser Windung und an dem Knopfe *R* befestigt ist. Der Knopf *R* trägt den Torsionszeiger *Z*; die Windung *W* taucht in die Quecksilbernäpfe q_1 und q_2 ein.

2. Eine feststehende Spirale (*SS* und S_1S_1), welche die bewegliche Windung *W* umgibt; sie besteht aus dick- (*SS*) und dünndrahtigen (S_1S_1) Windungen.

3. Zur senkrechten Aufstellung des Instrumentes dient ein Pendel, welches über einer Spitze einstehen muss. Pendel und Spitze sind in Fig. 84 ersichtlich.

Aufstellung.

1. Senkrechte Einstellung des Instrumentes durch die Stellschrauben.

2. Lösung der Arretirung der beweglichen Windung durch eine Schraube.

3. Einstellung der beiden Zeiger Z und Zg auf den Nullpunkt der Kreistheilung.

Messung.

Durchfliesst das Instrument ein Strom, so wird die bewegliche Windung abgelenkt und deren Zeiger durch Drehung des Torsionszeigers auf Null eingestellt. Eine dem Galvanometer beigegebene Tafel, welche die zusammengehörigen Werte von Ablesungen und Stromstärken (für die dünn- und dickdrahtigen Windungen) enthält, ermöglicht bei der jeweiligen Einstellung des Gewindezeigers auf Null, die Ablesung der Stromstärke. Bei der Messung mit der dünndrahtigen Spirale (Messung für kleinere Stromstärken) hat man das Instrument durch die Klemme C_0 und C_1 mit dem dünnen Drahte $S_1 S_1$, bei der Messung mit der dickdrahtigen Spirale (Messung für grössere Stromstärken) durch die Klemmen C_0 und C_2 mit dem dicken Drahte SS in den Stromkreis einzuschalten.

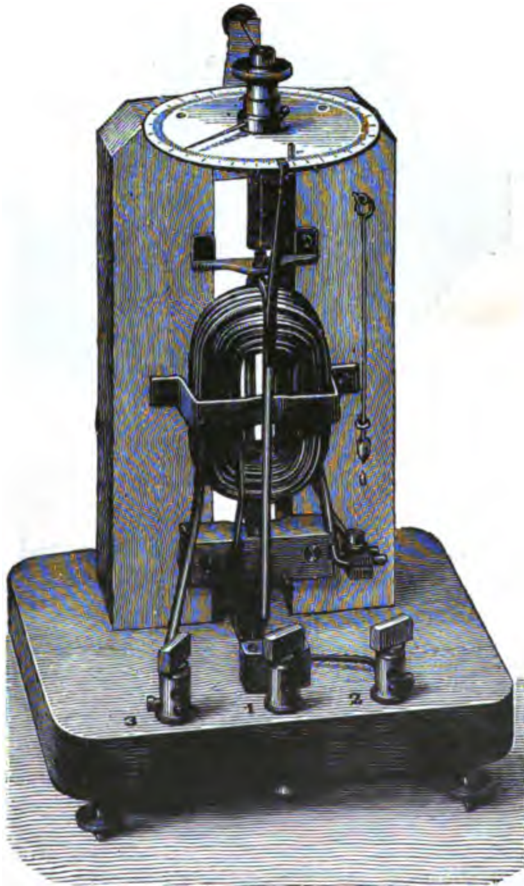


Fig. 84.

Versieht man die dicke Windung mit einem Nebenschlusse von gleichem Widerstande, so kann man mit demselben Instrumente die doppelten Stromstärken messen.

Wechselt die Stromrichtung in der beweglichen Windung, so wechselt sie auch in den festen Windungen und die Einwirkung dieser Windungen auf einander bleibt unverändert; man kann dieses Instrument deshalb auch zur Messung von Wechselströmen verwenden.

Die Angaben des Elektrodynamometers sind im Gegensatze zum Universalgalvanometer um so zuverlässiger, je grösser der Ausschlag ist.

78. Messbrücke für sehr kleine Widerstände von Siemens & Halske, Fig. 85. Die Firma gibt dem Instrumente folgende Beschreibung bei:

Diese Messbrücke ist eine Modifikation der sogenannten Thomson'schen Doppelbrücke; sie zeichnet sich namentlich dadurch aus, dass die Messung unabhängig ist von den Uebergangs-Widerständen, welche zwischen dem zu messenden Widerstande und den Strom zuführenden Theilen der Schaltung auftreten; da diese Uebergangswiderstände das hauptsächliche Hindernis der Messung sehr kleiner Widerstände bilden, so bietet diese Methode den einzigen Weg, um solche Widerstände zu bestimmen.

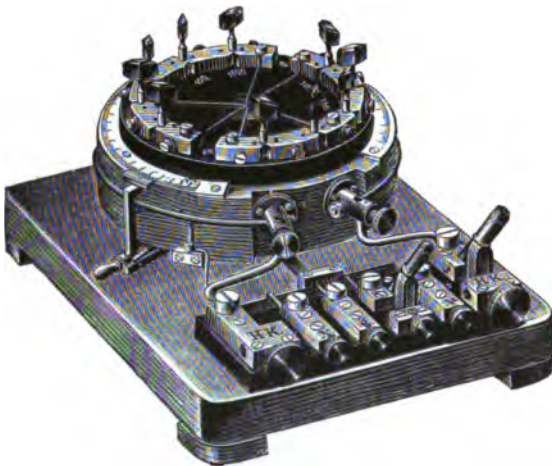


Fig. 85.

Wesen. Die Art der Schaltung und Messung zeigt Fig. 86. Der Hauptstromkreis (*HK*) wird durch eine Batterie *B*, einen Taster *C*, einen Normaldraht *D* und den Körper *W*, welcher den zu messenden Widerstand *X* (zwischen *b* und *b*) enthält, gebildet. An zwei Punkte des Normaldrahtes (*o* und *e*) und an die Endpunkte (*bb*) des zu messenden Widerstandes werden Stromzweige (*po*, *mn*) angelegt; zwischen diese Stromzweige sind das Spiegelgalvanometer *gg* und der Taster *c* eingeschaltet. In den Zweigen *m*, *n*, *o*, *p* lassen sich nur dekadische Widerstände einschalten.

Ist der Widerstand $m = n$, ferner $p = o$, so herrscht im Galvanometer der Strom Null, wenn der Widerstand *N* zwischen *e* und *o* am Normaldrahte *D* gleich dem Widerstande *X* ist:

$$N = X.$$

Der Widerstand N ist durch einen Laufkontakt von Null bis zu einem Maximalwerte veränderlich gemacht; es können also auf diese Weise Widerstände bis zu diesem Maximalwerte gemessen werden. Sind die Widerstände N und X sehr verschieden, so dass obige Messungsart ungenau ausfällt, so wählt man die Widerstände m, n, p, o ebenfalls verschieden, jedoch stets so, dass $\frac{n}{m} = \frac{o}{p}$ ist. Alsdann herrscht im Galvanometer der Strom Null, wenn

$$X = N\frac{n}{m} = N\frac{o}{p}.$$

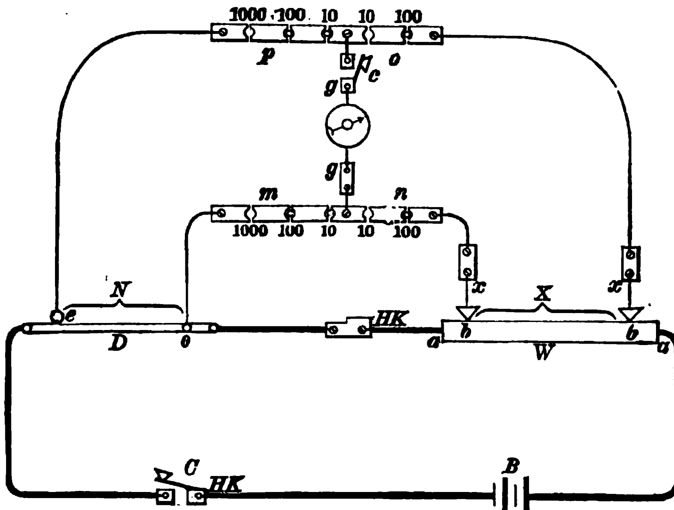


Fig. 86.

Da die Verhältnisse $\frac{n}{m}$, $\frac{o}{p}$ nur dekadische Werte annehmen können und der Widerstend N direkt in Ohm angegeben ist, so sind die Ziffern der Zahlen X und N dieselben, nur das Komma wird durch den Wert des Verhältnisses $\frac{n}{m}$ oder $\frac{o}{p}$ bestimmt.

Anwendungen. Die wichtigsten Anwendungen des Apparates bestehen in der Widerstandsmessung von Dynamomaschinen, Kupferlitzen und Kabeln von starkem Querschnitte, Drähten und Stäben zur Bestimmung ihrer Leitungsfähigkeit.

Konstruktion. Der Messdraht D aus dickem Neusilber oder Nickelin ist kreisförmig ausgespannt und zur Hälfte in eine am Rande

eines Holzsockels eingedrehte Nuth gebettet; derselbe wird von einem Kontaktröllchen *e* bestrichen, dessen Lagerstück ein um die Achse des Instrumentes drehbarer, horizontal liegender Arm trägt. Der Ort der Berührung zwischen Röllchen und Messdraht wird mittelst Nonius an einer auf der Fläche des Holzsockels angebrachten Theilung abgelesen.

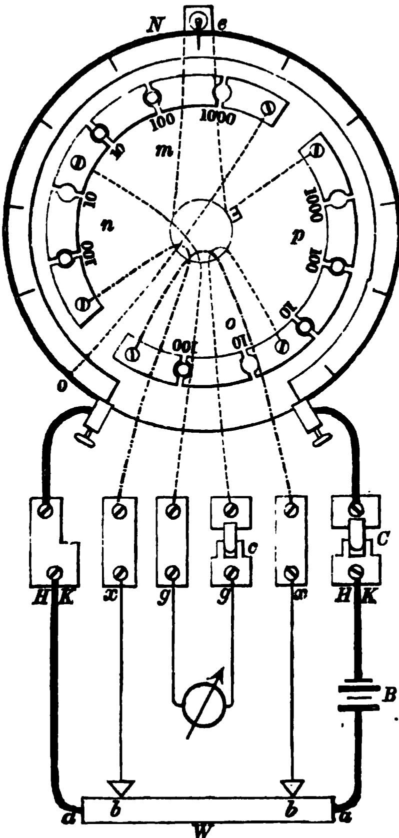


Fig. 87.

Ein zweiter Kontakt befindet sich bei dem Nullstriche *o* der Theilung und ist mit dem Messdrahte fest verbunden. Die Widerstandsrollen (*m*, *n*, *o*-, *p*) sind kreisförmig in demselben Holzsockel angeordnet; die Klemmen und Taster befinden sich, in einer Reihe nebeneinander, vorne an dem Fussbrette.

Schaltung. Die Verbindungen der Klemmen auf dem Fussbrette mit dem Messdrahte und den Widerstandsrollen sind aus den Figuren 86 und 87 ersichtlich.

Im Hauptstromkreise (*HK*) sind die Batterie *B* (2 bis 4 Bunsen-Elemente), der Kontakthebel *C*, der Messdraht *N* und der zu messende Widerstand *W* hintereinander geschaltet. Die Leitungen *xx* müssen mittelst geeigneter Klemmen an die Punkte *bb* geführt werden, zwischen welchen sich der Widerstand, welcher zu messen ist, befindet. Die Messung gibt nur den Widerstand des zwischen diesen Klemmen liegenden Stückes *X* an. Die Klemmen *gg* sind mit einem, durch den Hebel *c* ein- und ausschaltbaren, Spiegel-Galvanometer von geringem Widerstande verbunden. Dasselbe ist in einiger Entfernung von den Leitungen des Hauptstromkreises aufzustellen, so dass durch letzteren der Spiegel nicht beeinflusst wird.

Will man z. B. den Widerstand des Ankers einer Dynamomaschine messen, so legt man die Hauptleitungen (*aa*) an die Achsen des Bürstenträgers *aa*, Fig. 88, die Leitungen (*xx*) an die Bürstenklemmen *bb*, Fig. 88; man hat dann den Ankerwiderstand einschliesslich des Uebergangswiderstandes der Bürsten gemessen. Soll der Ankerwiderstand mit Ausschluss

dieses Uebergangswiderstandes bestimmt werden, so legt man die Hauptstromleitungen ebenfalls in *aa*, Fig. 88, an, die Zweigstromleitungen *xx* dagegen an dieselben Lamellen des Kommutators b^1b^1, Fig. 88, auf welchen die Bürsten liegen.

Messung. Die Widerstände in den Zweigen *m*, *n*, *o* und *p* sind so zu wählen, dass das dem Gleichgewichte entsprechende Stück *N* des Messdrahtes möglichst gross ausfällt. Das Widerstandsverhältnis $\frac{o}{p}$ muss stets dem Verhältnisse $\frac{n}{m}$ gleich sein. Der Widerstand des ganzen Messdrahtes beträgt ungefähr 0·01 Ohm, der Widerstand des bei der Messung eingeschalteten Stückes desselben wird an der Theilung direkt in Ohm abgelesen. Man stellt zunächst den Laufkontakt *e* auf 0·00 Ohm, schaltet die Batterie (Taster *C*), dann das Galvanometer (Taster *c*) ein und erhält einen Ausschlag des Spiegels. Nun variirt man in *n* und *o* und in *m* und *p* die Widerstände unter Berücksichtigung obiger Bemerkung bezüglich ihres Verhältnisses, bis der Ausschlag des Spiegels die entgegengesetzte Richtung annimmt. Durch Verschiebung des Kontaktes *e* am Messdrahte wird alsdann eine Stellung desselben gefunden, bei welcher das Galvanometer keinen Strom anzeigt.

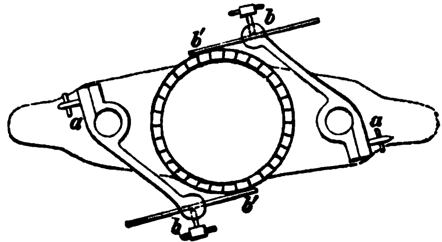


Fig. 88.

Wenn *N* der am Messdrahte abgelesene Widerstand und *X* der zu messende Widerstand sind, muss:

$$X = N\frac{n}{m} = N\frac{o}{p}.$$

Hat man z. B. $n = o = 10$, $m = p = 1000$ gestöpselt und ist $N =$ 0·0053 Ohm, so muss:

$X =$ 0·000053 Ohm sein.

Aendert sich weder durch Variiren der Zweigwiderstände, noch durch Verstellung des Kontaktes *e* der Sinn des Ausschlages, so ist der zu messende Widerstand entweder größer als 0·1 Ohm, oder kleiner als 0·000001 Ohm. Das Erstere findet statt, wenn der Ausschlag bei dem größten Werte des Verhältnisses $\frac{n}{m}$ der schwächste ist, das Letztere, wenn der schwächste Ausschlag bei dem kleinsten Wert von $\frac{n}{m}$

erfolgt. Es lassen sich mittelst der Brücke Widerstände von 0·000001 Ohm bis 0·1 Ohm messen.

Bestimmung der Leitungsfähigkeit. Kennt man bei einem Metallstücke den Widerstand X in Ohm einer Länge L in Metern, den Querschnitt Q in Quadratmillimetern und beobachtet man die Temperatur t desselben in Graden Celsius, so kann man die Leitungsfähigkeit K bei 0° C. im Verhältnisse zu Quecksilber berechnen.

$$\text{Es ist:} \quad K = \frac{L\,(1 + \alpha t)}{1{\cdot}06 \times X \times Q}.$$

Hier wird bei einfachen Metallen für α der Wert 0·004 benützt; bei Metalllegirungen hat dieser Coëfficient andere Werte.

Beispiel: Ein Kupferstab, dessen Widerstand auf 0·90 Meter Länge = 0·000159 Ohm gefunden wurde, hat einen Querschnitt von 98 mm^2. Die Temperatur desselben betrug bei der Messung 20° C.; seine Leitungsfähigkeit ist demnach:

$$K = \frac{0{\cdot}90\ (1 + 0{\cdot}004 \times 20)}{1{\cdot}06 \times 0{\cdot}000159 \times 98} = 58{\cdot}8.$$

79. Weitere wissenschaftliche Galvanometer:

1. Das Voltameter (§ 34, Fig. 17).

2. Die Sinusbussole. Das Princip dieses Instrumentes ist angewendet bei der Strommessung mit dem Universalgalvanometer.

3. Die Tangentenbussole.[1])

4. Das Spiegelgalvanometer (Poggendorff 1826, Gauss 1833, W. Thomson, Siemens & Halske, Edelmann 1884, Carpentier und Andere), ein Galvanometer, dessen Magnetnadel mit einem Spiegel in Verbindung steht, oder ein Stahlspiegel ist. Die Ablenkung der Magnetnadel (sammt Spiegel) wird mittelst eines Fernrohres an einer Scala beobachtet. Die Spiegelablesung ermöglicht schon bei den geringsten Stromstärken die genauesten Messungen.

5. Die Messbrücken (die sogenannte Thomson'sche Doppelbrücke, die Messbrücke von Kohlrausch u. s. w.).

6. Das Differentialgalvanometer ist sowie die Brücken zur Widerstandsmessung fester Leiter bestimmt.

7. Die Widerstände flüssiger Leiter. A. von Waltenhofen misst den Widerstand von Batterien durch augenblickliches Schließen des Stromes derselben.

---

[1]) A. Wüllner „Experimentalphysik" IV. 1886.

Weitere Methoden dieser Widerstandsmessungen wurden von F. Kohlrausch (Hartmann & Braun), O. Frölich (Siemens & Halske) u. a. ersonnen. Die älteste Methode stammt von Horsford.

F. Kohlrausch verwendet bei seinem Verfahren die Brückenmethode (§. 71, Fig. 68), als Stromquelle jedoch eine magnetelektrische Maschine, welche Wechselströme liefert und als Galvanometer ein Elektrodynamometer von Siemens & Halske, für schwache Ströme oder ein Telephon.

80. Die wichtigsten Instrumente zur Messung von Wechselströmen sind:

1. Die Elektrodynamometer (§. 77, Fig. 83).

2. Die Elektrometer. Das vollkommenste Elektrometer ist das Quadrantelelektrometer von Lord Kelvin (Sir. W. Thomson).[1]

3. Der elektrostatische Voltmesser von Lord Kelvin.[2]

4. Die Calorimeter.[3] Auch das später zu beschreibende industrielle Galvanometer von Cardew beruht auf der Wärmewirkung (calorischen Wirkung) des elektrischen Stromes.

5. Industrielle Galvanometer, welche für Wechselstrom geaicht sind.

81. Messung der Wechselströme. Galvanometer mit Magnetnadeln können zur Messung von Wechselströmen nicht verwendet werden, da Wechselströme auf Magnetnadeln keine Wirkung ausüben. Die in einem Wechselstromkreise verrichtete Arbeit ist, wie bei Gleichstromkreisen, gleich der Spannung an den Klemmen der Dynamo (V) multiplicirt mit der den Stromkreis durchfließenden Stromstärke (A). Für Wechselstrom gilt das Ohm'sche Gesetz nicht ohne weiters, sondern es ist:

$$\text{Stromstärke (wechselnd)} = \frac{\text{Spannung (wechselnd und verzögert)}}{\text{Scheinbarer Widerstand}}.$$

II. Industrielle Galvanometer.

82. Industrielle Galvanometer. In der Praxis werden an die Galvanometer hauptsächlich 2 Anforderungen gestellt:

1. Unabhängigkeit von magnetischen Störungen und der Einwirkung des Erdmagnetismus.

---

[1]) Kittler, Handbuch der Elektrotechnik I. § 152 ff., § 250 ff. und II. S. 139.

[2]) Ebenda, II. S. 145.

[3]) Ebenda, II. S. 146 ff.

2. Direkte Ablesung der Konstanten (Stromstärke, Spannung und Widerstand) des elektrischen Stromes.

Diese beiden Anforderungen erfüllen die sogenannten „industriellen“ Galvanometer, die bei jeder elektrischen Beleuchtungsanlage anzutreffen sind und bei der einfachsten Konstruktion die beste Verwendbarkeit zeigen. Die ersten Instrumente dieser Art stammen aus dem Jahre 1881; in diesem Jahre waren auf der Pariser Ausstellung und in den darauf folgenden Jahren auf der Münchener (1882) und Wiener Ausstellung (1883) die Instrumente von Marcel Deprez ausgestellt. Die Beseitigung der Abhängigkeit der Angaben der Galvanometer von magnetischen Störungen und der Einwirkung des Erdmagnetismus hat Deprez dadurch erreicht, dass er die Magnetnadeln der Galvanometer durch weiches Eisen ersetzte, welches durch ein künstliches magnetisches Feld (Hufeisenmagnet) magnetisirt und in eine bestimmte Richtung eingestellt wird.

Die Wickelung sämmtlicher Ampèremesser besteht aus einer oder einigen Windungen eines dicken Drahtes, die Wickelung sämmtlicher Volt- und Ohmmesser, aus vielen Windungen eines dünnen Drahtes.

83. Eintheilung der industriellen Galvanometer. Die Galvanometer für industrielle Zwecke theilt A. v. Waltenhofen in 3 Gruppen:

1. Gruppe: Spiralanziehung. Galvanometer, bei denen eine Magnetisirungsspirale auf einen beweglichen Eisenkern wirkt.

2. Gruppe: Magnetische Abstoßung. Galvanometer, deren Princip durch die abstoßende Wirkung gleichnamig magnetischer Massen gekennzeichnet ist.

3. Gruppe: Elektromagnetische Anziehung. Galvanometer, welchen die Wirkung eines Elektromagnetes auf einen excentrischen Anker zu Grunde liegt.

84. Spiralanziehung. Die Instrumente dieser Gruppe bestehen der Hauptsache nach aus einem Galvanometergewinde (Multiplicatorgewinde) *G* (siehe die folgenden Figuren), welches anziehend auf ein bewegliches Eisen *E* wirkt. Fig. 89 stellt die ersten industriellen Galvanometer, die Ampère- und Voltmesser von Deprez (1881) dar.

Fig. 90 ist eine neuere, praktische Form der letzteren Instrumente. Die Galvanometer Fig. 89 und Fig. 90 enthalten einen dritten Hauptbestandtheil und zwar einen Hufeisenmagnet *M*, Fig. 89, oder zwei Hufeisenmagnete M_1 und M_2, Fig. 90.

Der Zweck der Hufeisenmagnete (Stahl-Dauer- oder permanenten Magnete) ist im § 82 erläutert worden.

Die Angaben der Instrumente Fig. 89 und Fig. 90 sind nur solange richtig, als die hier angewandten Hufeisenmagnete gleich stark magnetisch bleiben. Die Schwingungen der Magnetnadel *E* sind aperiodisch (Du Bois Reymond nennt einen Magnet, der nach erfolgtem Ausschlage ohne Schwingungen zu machen, in seiner Lage verbleibt, aperiodisch).

Das Galvanometer in Fig. 90 hat eine sehr gefällige Form und kann in jeder beliebigen Stellung zu Messungen verwendet werden, da das weiche Eisen durch den Hufeisenmagnet gerichtet wird.

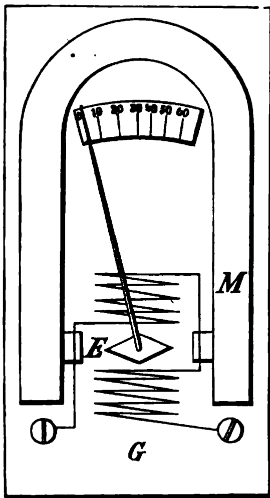


Fig. 89.

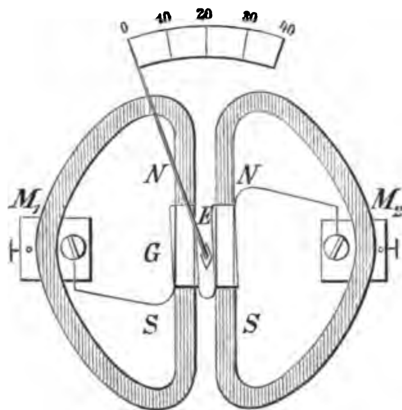


Fig. 90.

Bei den folgenden Instrumenten ist in der Regel die Wirkung eines Gegengewichtes in Anspruch genommen; die Zeiger dieser Instrumente sind in der Nullstellung entweder frei beweglich oder fest. Stahlmagnete sind bei keinem dieser Galvanometer in Verwendung.

Die Figuren 91 und 92 stellen Konstruktionen der Firma Gülcher in Bielitz-Biala vor.

Die Zeiger *ZZ* und die Eisendrähte *EE* sind durch die Gewichte *GG* ausbalancirt.

Die Scalen geben Ampère beziehungsweise Volt an. Je stärker der Strom ist, welcher die Galvanometerwindungen *GG* durchfließt, desto größere Ausschläge geben die Zeiger *ZZ*.

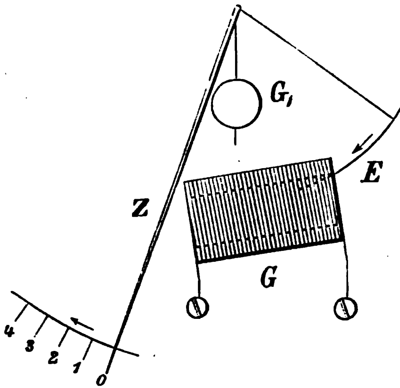


Fig. 91.

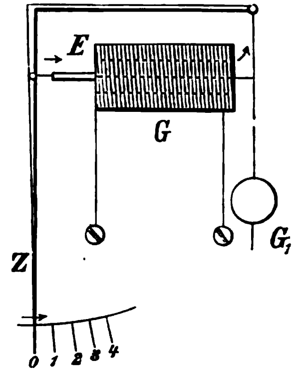


Fig. 92.

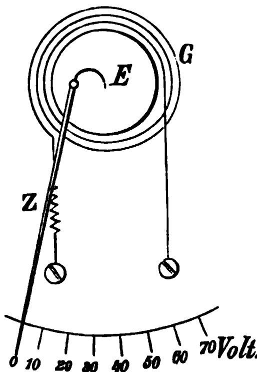


Fig. 93.

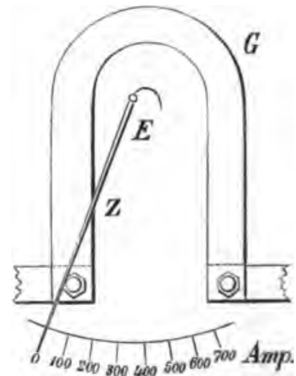


Fig. 94.

Sehr häufig stehen die Instrumente der Firma S. Schuckert & Co. (System Hummel), Fig. 93 und 94, in Verwendung. Dünne Eisenbleche *EE* werden von den Galvanometerwindungen angezogen. Die mit den Eisenblechen fest verbundenen Zeiger *ZZ* folgen den Bewegungen derselben und zeigen Volt, Fig. 93, beziehungsweise Ampère, Fig. 94, auf den zugehörigen Theilungen an. Der Ampèremesser in Fig. 94 hat nur eine Windung *G* und ist für sehr hohe Ampère bestimmt.

Der Stromanzeiger von Siemens & Halske, Fig. 95 und 96. Dieser Stromanzeiger besteht aus einer dicken, kurzen, kupfernen Windung, in welche von oben das eine Ende eines dünnen, eisernen, um seinen Mittelpunkt drehbaren, Ringsegmentes hineinragt, welches am unteren Ende mit einem, durch eine Schraube verstellbaren, Gegengewicht und mit einem, im Mittelpunkte der Drehung befestigten, Zeiger verbunden

ist, so dass bei der Drehbewegung des Ringsegmentes der Zeiger auf einer bogenförmigen Scala spielt. Wenn in der kupfernen Windung ein elektrischer Strom kreist, so wird das freie Ende des eisernen Ringsegmentes in den Stromkreisweg hineingezogen und zwar in um so stärkerem Maße, je stärker der Strom ist, wobei der Zeiger in entsprechender Weise auf der Scala steigt. Diese Scala ist mit einer gleichmäßigen Theilung versehen; auf derselben sind die Werte des Zeigerausschlages für jedes Instrument bei dessen Justirung empirisch festgestellt und in Ampère angegeben. Das Instrument wird in fünf verschiedenen Empfindlichkeiten ausgeführt, nämlich:

Für 0 bis ungefähr 50 Amp.,
„ 0 „ „ 100 „ ,
„ 0 „ „ 200 „ ,
„ 0 „ „ 300 „ ,
„ 0 „ „ 400 „ .

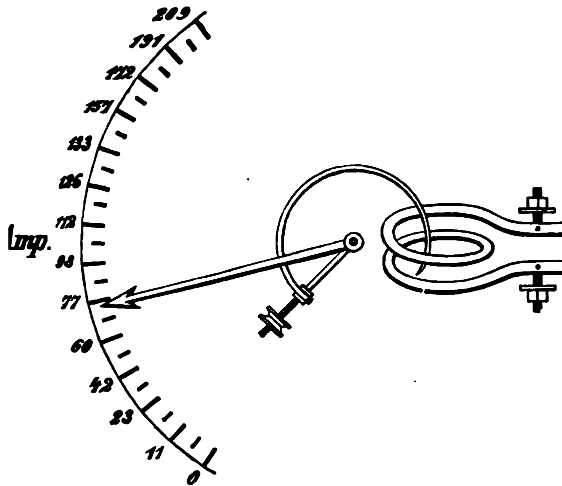


Fig. 95.

Für 0 bis 600 Ampère ist die kupferne Windung noch mehr verkürzt und von größerem Querschnitte. Alle diese Stromzeiger sind mit einer Arretirungsvorrichtung zur Feststellung des Zeigers versehen, welcher außerdem zur Controlirung des Zeigerausschlages benützt werden kann. Diese Vorrichtung hat außerhalb des Gehäuses einen cordirten Knopf, mittelst dessen der Zeiger auf den Nullpunkt der Scala zurückgeführt wird. Soll mit dieser Vorrichtung der Ausschlag controlirt werden, so dreht man damit während der


Fig. 96.

Messung den Zeiger für kurze Zeit auf Null zurück und lässt denselben dann wiederum frei einspielen. Ist das Instrument in Ordnung, so gibt alsdann der Zeiger denselben Ausschlag, wie vorher.

Der Spannungszeiger der Firma Siemens & Halske hat im Wesentlichen dieselbe Einrichtung wie der soeben beschriebene Stromzeiger.

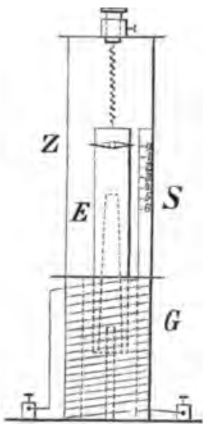


Fig. 97.

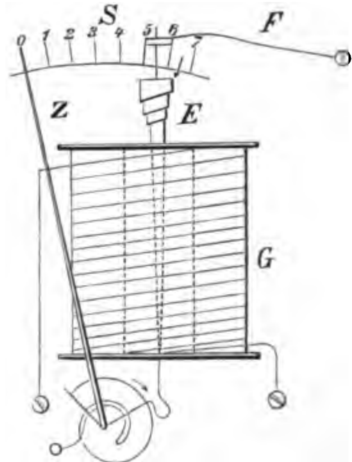


Fig. 98.

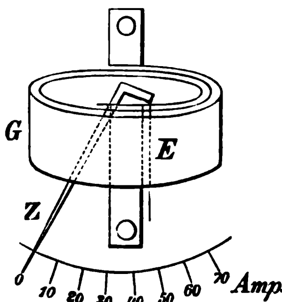


Fig. 99.

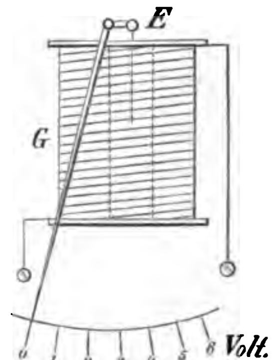


Fig. 100.

Die industriellen Galvanometer der Firma Hartmann & Braun sind in den Fig. 97 (System F. Kohlrausch) und 98 schematisch wiedergegeben.

Die Windungen sind mit *GG*, die Eisenbleche mit *EE* und die Theilungen mit *SS* bezeichnet. *F* in Fig. 98 deutet eine Stahlfeder an.

Die allgemeine Elektricitätsgesellschaft in Berlin baut die in den Figuren 99 und 100 wiedergegebenen Instrumente (System Dolivo von Dobrowolsky). Die Buchstaben bezeichnen, wie oben, die Hauptbestandtheile dieser Instrumente.

85. Magnetische Abstoßung. Aus dem Principe dieser Instrumente ergeben sich die Hauptbestandtheile derselben:

1. Eine Magnetisirungsspirale.
2. Ein Doppeleisenkern, bestehend aus einem festen und einem beweglichen Theile. Die beiden Theile des Eisenkernes werden durch die Spirale magnetisirt, erhalten an den gleichen Enden die gleichen Pole und stoßen einander ab. An der Achse sind der bewegliche Theil und der Zeiger befestigt, letzterer spielt auf einer Scala.

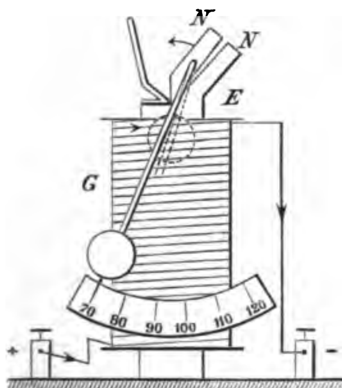


Fig. 101.

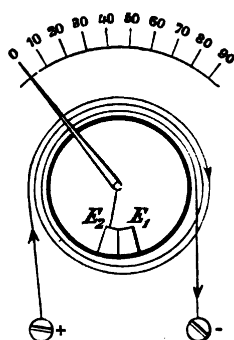
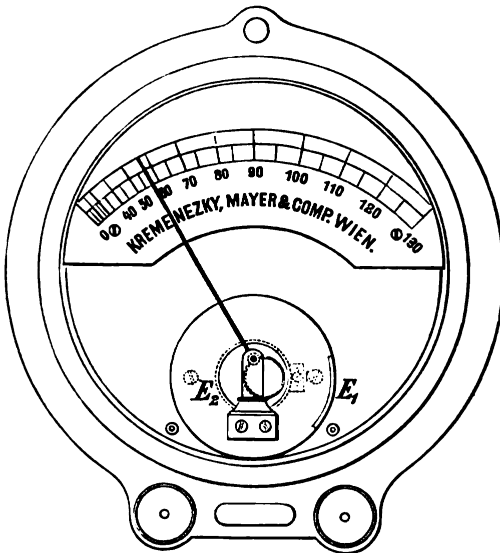


Fig. 102.

Das Instrument Fig. 101 wurde im Jahre 1884 von der Firma Siemens & Halske patentirt. Der Eisenkern dieses Instrumentes ist an seinem oberen Ende durch einen schrägen Eisenansatz verlängert, auf welchem der bewegliche Eisenkern ruht.

Scharnweber (Kiel) hat die magnetische Abstoßung gleichzeitig mit Siemens & Halske in seinen industriellen Galvanometern angewendet.

Fig. 102 zeigt eine einfachste Ausführung des obigen Principes, die Ampère- und Voltmesser der Firma B. Egger & Co. (System F. Drexler). Der feste Eisenkern E_1 und der bewegliche E_2 werden an den Enden gleichnamig magnetisch und stoßen einander ab. Der mit dem beweglichen Eisenkerne fest verbundene Zeiger gibt an einer Theilung Stromstärken oder Spannungen an.



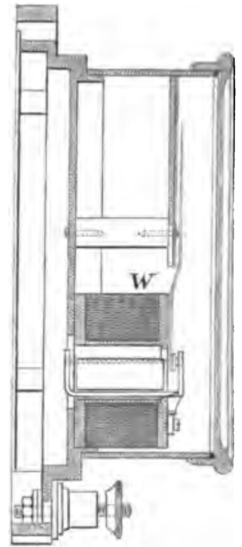


Fig. 103.

Das Instrument der Firma Kremenezky, Mayer & Co., Fig. 103, beruht ebenfalls auf der magnetischen Abstoßung. Der feste Eisenkern besteht aus einem dünnen Eisenbleche, welches an der Innenfläche der Spule befestigt ist, während ein hohler Cylinder aus dünnem Eisenbleche den beweglichen Eisenkern bildet. Die Firma baut das Instrument in der Regel in 4 verschiedenen Größen. Die Durchmesser der Deckplatte betragen 90, 160, 200 oder 240 *mm*. Die 3 größeren Formen sind zumeist zum Montiren auf eine senkrechte Fläche eingerichtet, die kleinste Form ist leicht transportabel und kann auf eine horizontale Fläche aufgestellt werden. Die Ampère- und Voltmesser dieser Firma haben im Wesen dieselbe Einrichtung.

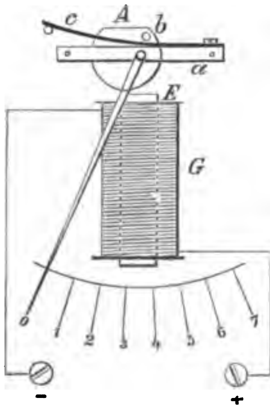


Fig. 104.

86. Elektromagnetische Anziehung. Die Hauptbestandtheile der Instrumente dieser Gruppe von Galvanometern sind:

1. Ein Elektromagnet *E*, Fig. 104.
2. Ein excentrischer Anker *A* aus weichem Eisen.

Fig. 104 stellt die industriellen Galvanometer von F. Uppenborn dar. Der Anker *A* ist excentrisch an der Achse befestigt, d. h. die Achse geht nicht durch den Mittelpunkt (Centrum) des Ankers; der Elektromagnet wird deshalb den letzteren so zu drehen suchen, dass der Abstand zwischen beiden so klein als möglich wird. Der Anker steht in fester Verbindung mit dem Zeiger, welcher auf einer Scala die Konstanten des elektrischen Stromes anzeigt.

Die Instrumente von F. Uppenborn zählen zu den ältesten, praktisch verwendbaren industriellen Galvanometern.

III. Weitere industrielle Galvanometer.

87. Wechselstromvoltmesser von Cardew[1]), Fig. 105. Dieses Instrument beruht auf der Längenausdehnung eines Platinsilberdrahtes durch die Wärmewirkung des Stromes. An dem Drahte ist ein um die Achse *a* gewundener Seidenfaden befestigt, welcher durch die Spirale *f* gespannt wird. Der Zusatzwiderstand *c m g* kann durch Unterbrechung der Verbindung zwischen *c* und *d* ausgeschaltet werden.

Geschützt ist das Instrument durch die Sicherheitsschaltung *d e*. Nach längerem Gebrauche wird die Nullstellung des Zeigers *Z* durch Verstellen des Metallstückes *i* mittelst der Schraube *k* richtig gestellt. Die Einschaltung des Instrumentes erfolgt an den Klemmen k_1 und k_2.

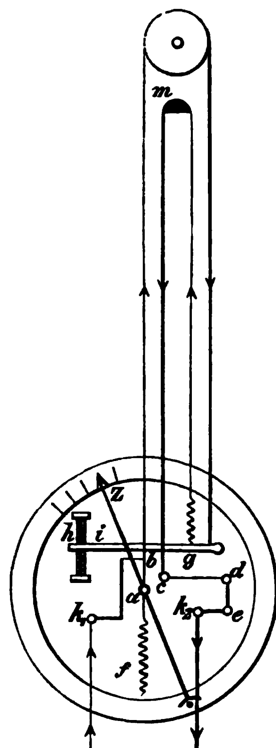


Fig. 105.

88. Elektrodynamometrischer Stromzeiger für Lichtleitungen von Siemens & Halske, Fig. 106. Dieser Stromzeiger ist zur Controle der Stromstärke in Stromkreisen mit Parallelschaltung der Lampen zu benützen, weil derselhe auf eine bestimmte Spannung adjustirt ist.

Konstruktion des Apparates. Der Stromzeiger besteht aus einer durch wenige Windungen starken Kupferdrahtes gebildeten Spirale

[1]) Ein einfachstes Schema dieses Instrumentes bringt der „Kalender für Elektrotechniker" von F. Uppenborn, 1894, Seite 107, Fig. 43.

und einem mit vielen Windungen dünnen Drahtes bewickelten drehbaren Ringe, dessen Drehachse die senkrechte Achse der dicken Kupferspirale rechtwinklig durchschneidet. Der Ring ist etwa bis zur Hälfte seines Umfanges in diese Kupferspirale eingesenkt und mit einem Zeiger verbunden, welcher auf einer in Ampère eingetheilten Skala spielt.

Wirkungsweise des Apparates. Der zu messende Strom geht durch die dicken Windungen, während der bewegliche Ring in eine Glühlampe eingeschaltet ist, so dass denselben ein schwacher, aber

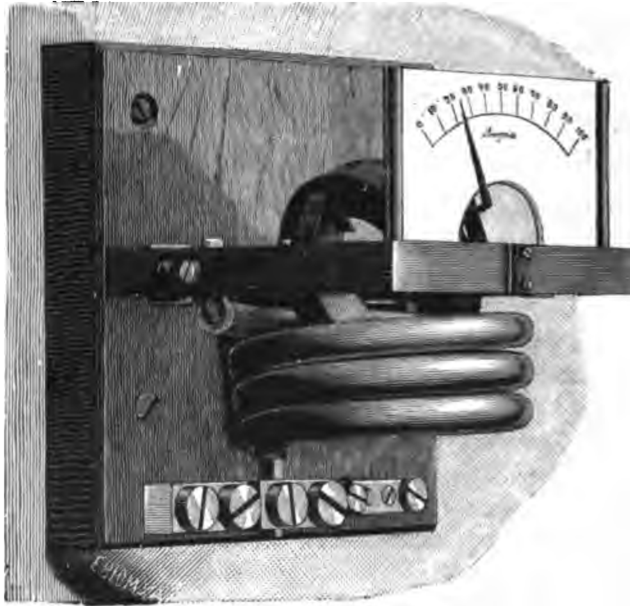


Fig. 106.

konstanter Strom umkreist. Durch die zwischen beiden Stromkreisen zur Wirkung kommende elektrische Anziehung wird eine der Stromstärke proportionale Drehung des Ringes hervorgerufen. Dieser Drehung entsprechend, deutet der Zeiger bei gleichbleibender Spannung im Stromkreise die Zahl der den Ring durchfließenden Stromeinheiten in Ampère an. Der Apparat wird in drei Größen bis zu 150, 300 und 500 Ampère ausgeführt.

89. **Maximum- und Minimum-Voltmesser** der Firma B. Egger & Co., Fig. 107. Dieses Instrument macht den Maschinisten durch ein Signal auf zu hohe (maximale hier, 125 V.) und auf zu niedrige (minimale, hier 90 V.) Betriebsspannung aufmerksam. Die beiden Pole der

Elemente sind mit den Klemmen k_1 und k_2 verbunden. k_2 und die Skala sind von dem Körper isolirt und stehen mit einander in Verbindung. Der Zeiger Z gibt entweder bei c_1 oder bei c_2 Berührung. L bezeichnet ein Läutewerk.

90. Ampèremesser mit Stromrichtungsanzeige der Firma B. Egger & Co., Fig. 108. Die Hauptbestandtheile dieses Instrumentes sind ein fester Elektromagnet NS und ein mit dem Zeiger verbundener beweglicher Stahlmagnet $N_1 S_1$. Wechselt der das Instrument durchfließende Strom die Richtung, so wechselt der Elektromagnet NS seine

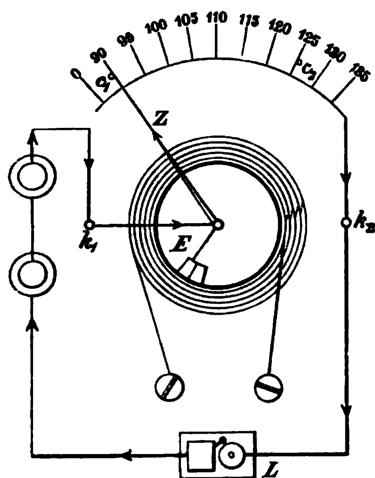


Fig. 107.

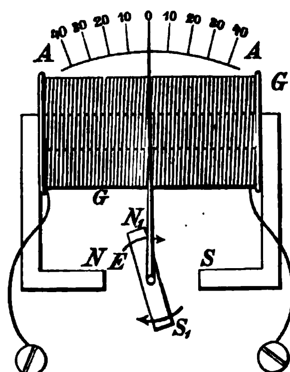


Fig. 108.

Pole und der Stahlmagnet N_1 S_1 (mit dem Zeiger) bewegt sich in der entgegengesetzten Richtung. Für die Ladung und Entladung von Akkumulaturen sind Stromrichtungsanzeiger unentbehrlich.

91. Registrirende Messinstrumente. Brüder Richard (Richard Frères) in Paris bauen sogenannte selbstregistrirende Messinstrumente, welche selbstthätig eine krumme Linie (Kurve) auf einem rotirenden Papiercylinder aufzeichnen. Die Registrirmessinstrumente gestatten demnach nicht nur eine augenblickliche Ablesung der Konstanten des elektrischen Stromes, sondern auch eine nachträgliche Ablesung derselben.

92. Das Einschalten, die Montage und das Aichen der Messinstrumente. Sämmtliche Strommesser (Voltameter, Universalgalvanometer als Strommesser, Elektrodynamometer, Ampèremesser u. s. w.)

werden direkt in die Hauptleitung, Fig. 109, eingeschaltet. Sämmtliche Spannungs- und Widerstandsmesser (Voltmesser, Torsionsgalvanometer, Ohmmesser u. s. w.) werden an diejenigen Punkte des Stromkreises angeschlossen, zwischen welchen die Spannung oder der Widerstand gemessen werden soll, Fig. 110.

Fig. 109 stellt die Schaltung der industriellen Galvanometer bei einer Beleuchtungsanlage mit hintereinandergeschalteten Lampen, Fig. 110, mit parallel geschalteten Lampen dar.

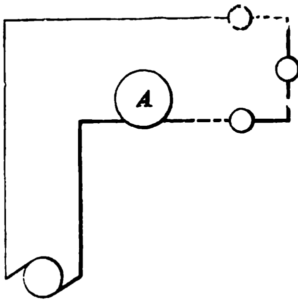


Fig. 109.

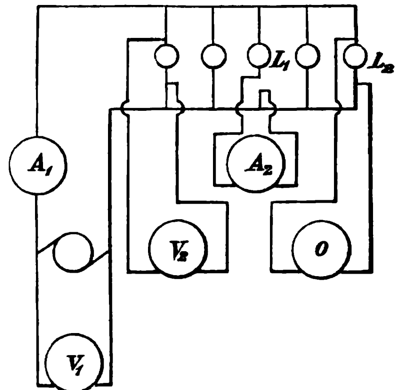


Fig. 110.

In Fig. 110 gibt V_1 die Maschinen, V_2 die Lampenspannung, A_1 den gesammten Strom im Leitungsnetze, A_2 den Strom der Lampe L_1 und O den Widerstand der Lampe L_2 an.

Dieselbe Schaltung wird bei allen oben angeführten Galvanometern angewendet.

Bei vielen industriellen Gleichstrominstrumenten (insbesondere bei jenen, welche mehr Eisen besitzen) hat man beim Einschalten auf die Richtung des Stromes zu achten, da sich sonst Spannungsunterschiede bis zu ungefähr 10 Volt ergeben.

Montage. Die industriellen Galvanometer werden gewöhnlich auf ein Brett aus hartem Holze montirt. Die Einstellung dieser Instrumente erfolgt nach an denselben ersichtlichen Marken, oder, falls die Instrumente eine freie Nullstellung haben, durch das Einstellen der Zeiger auf Null. Die Instrumente von Deprez können, wie bekannt, in jeder Stellung verwendet werden.

Das Aichen der Galvanometer.

Zum Aichen der wissenschaftlichen Galvanometer werden die Voltameter (Siehe S. 19, Fig. 17), insbesondere das Kupfer- und Silbervoltameter, angewendet.

Das Aichen der industriellen Galvanometer geschieht mit Zuhilfenahme sogenannter Normalinstrumente. Als Normalinstrumente verwendet man entweder verlässliche industrielle Galvanometer oder wissenschaftliche Galvanometer (z. B. Torsionsgalvanometer, Elektrodynamometer u. s. w.), welche auf obigem Wege geaicht wurden. Normalinstrument und zu aichende Instrumente werden

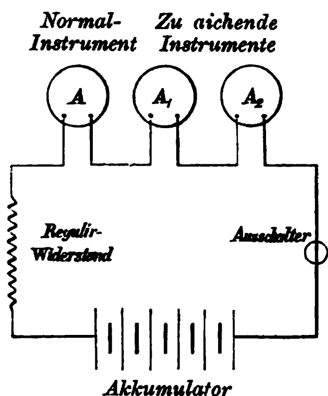


Fig. 111.

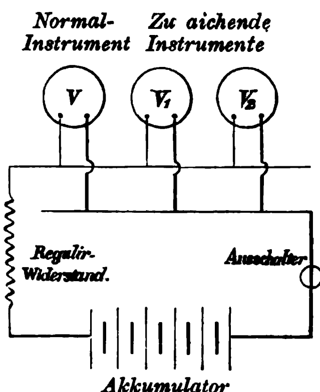


Fig. 112.

1. hintereinander geschaltet (Ampèremesser-Aichung), Fig. 111, oder

2. parallel geschaltet (Volt- und Ohmmesser-Aichung), Fig. 112.

Der Aichstrom soll konstant (von gleich bleibender Stärke) sein (Akkumulatorenstrom, Strom einer kostanten Batterie). Das Aichen mit Maschinenstrom ist unsicher und zeitraubend.

Der Vorgang beim Aichen ist der folgende: Das Normalinstrument wird mittelst des Regulirungswiderstandes auf die verlangte Stromstärke oder Spannung (beziehungsweise Widerstand) eingestellt und die betreffende Einstellung des Zeigers des zu aichenden Instrumentes markirt. In der Praxis stehen häufig die zum Aichen der Messinstrumente erforderlichen Normalinstrumente nicht zur Verfügung; von den vielen möglichen Methoden der Aichung unter solchen Verhältnissen seien einige von mir praktisch verwendete Methoden an Beispielen erläutert:

Beispiel: Mit einem Voltmesser zu 50 Volt als Normalinstrument sind Voltmesser zu 100 Volt zu aichen (Schaltung Fig. 112).

In diesem Falle ist dem Normalinstrumente der eigene Widerstand (1000 Ohm) vorzuschalten und jede Ablesung an diesem Instrumente mit zwei zu multipliciren.

Schaltet man einen Voltmesser den ein-, zwei-, drei-, allgemein n-fachen Widerstand vor, so hat man die Angaben desselben mit zwei, drei, vier, allgemeinen $n+1$ zu multipliciren. Schaltet man einen Ampèremesser den den ein-, zwei-, drei-, allgemein n-fachen eigenen Widerstand parallel, so hat man die Angaben desselben mit zwei, drei, vier, allgemeinen $n+1$ zu multipliciren.

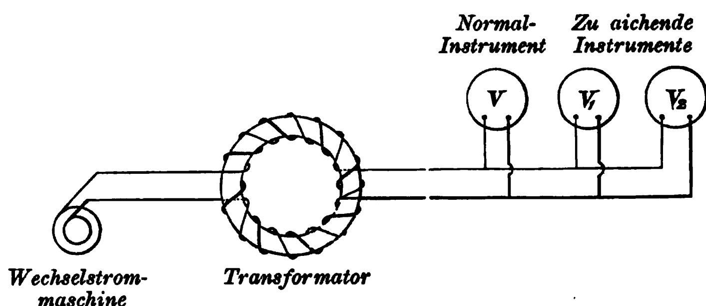


Fig. 113.

Diese Methode habe ich seit dem Jahre 1887 bei der Aichnng der Voltmesser auf sehr hohe Spannungen und der Ampèremesser auf sehr niedere Stromstärken bei Abgang gleich geaichter Normalinstrumente angewendet.

Beispiel: Die maximale Spannung einer Wechselstrommaschine sei 100 Volt; mit dieser Maschine ist ein Wechselstromvoltmesser zu 1000 Volt zu aichen, Fig. 113.

Zu diesem Zwecke dient der Transformator (S. 39, h); derselbe verwandelt hochgespannte Ströme in niedrig gespannte Ströme und umgekehrt. Hat der Transformator das Uebersetzungsverhältnis $\frac{1}{10}$, so wird ein Wechselstrom von 100 Volt und z. B. 1 Ampère in die dicken Windungen eintretend, in den dünnen Windungen einen Strom von $100 \times 10 = 1000$ Volt und 0·1 Ampère induciren, welcher zum Aichen in der durch die Fig. 113 gegebenen Anordnung benützt werden kann.

Die Voltmesser für die k. u. k. Hofburg in Wien und Andere wurden von mir nach dieser Methode geaicht und in der Centrale der internationalen Elektricitätsgesellschaft in Wien mit einem Cardew'schen Instrumente übereinstimmend gefunden. Hier sei bemerkt, dass die Anzahl der Polwechsel der in beiden Fällen angewandten Maschinen 5000 betrug, auf welchen Umstand bei der Aichung von Wechselstrominstrumenten der drei oben angeführten Gruppen im Interesse der Genauigkeit der Angaben dieser Instrumente zu achten ist.

Beispiel: Mit der im December 1889 in der obengenannten Centrale aufgestellten großen Wechselstrommaschine mit einer Leistung von 400000 Watts (2000 Volt und 200 Ampère) soll während des Betriebes ein Voltmesser von 10—100 Volt geaicht werden.

Diese Aichung kann auf zweierlei Art erfolgen:

1. Indem man sämmtlichen Instrumenten einen gemeinsamen Widerstand vorschaltet.

Da dieser Widerstand sehr groß sein müsste, bewährt sich diese Methode nicht so gut, als die folgende:

2. Durch Transformation (Umsetzung) der Spannung im Verhältnisse 1 : 20.

Für die Schaltung kann das in Fig. 113 wiedergegebene Schema Verwendung finden.

93. Die Haupteigenschaften der industriellen Galvanometer und die Mittel zur Erreichung derselben.

1. Das Instrument muss bis auf 0·1 der Einheit genau und so empfindlich sein, dass es schon bei Schwankungen der elektrischen Konstanten von 0·1 der Einheit arbeitet.

Diese Eigenschaften werden erreicht:

a) Durch die präcise mechanische Ausführung des Instrumentes. Die Lager müssen aus harten Steinen (z. B. Achat) angefertigt werden, fein polirt und fest gefasst sein.

b) Durch Verwendung von Eisen, welches frei ist von zurückbleibendem Magnetismus. Dazu ist erforderlich, dass die Masse des Eisens gering, das Eisen selbst sehr weich und vollkommen ausgeglüht sei.

Nur bei einem Instrumente, welches frei ist von zurückbleibendem Magnetismus, wird es gleichgiltig sein, in welcher Richtung der Strom das Instrument durchfließt und ob man bei der Controle von den Angaben bei den niederen Einheiten anfängt und zu den höheren Einheiten übergeht oder umgekehrt.

c) Die gegenseitige Einwirkung des festen auf den beweglichen Theil des Instrumentes muss stark genug sein, um dasselbe von un-

bedeutenden äusseren Einflüssen (benachbarten Stromleitungen, bewegten Eisenmassen u. s. w.) unabhängig zu machen.

d) Das Gewicht der beweglichen Masse muss ein Kleinstes sein. Geringe Eisenmassen sind bald gesättigt, also unabhängig von zurückbleibendem Magnetismus.

2. Die Erwärmung der Widerstände der industriellen Galvanometer darf bei dauernder normaler Beanspruchung nicht 30° C. übersteigen. Für die Erwärmung der Widerstände ist die Wahl der zulässigen Beanspruchung des Drahtes in Ampère für 1 mm^2 massgebend.

3. Das Instrument muss jede gewünschte Skala ermöglichen. Verlangt werden in den meisten Fällen entweder Skalen mit einer gleichen Theilung (gleichen Intervallen) oder mit einer größeren Theilung an der Gebrauchsstelle. Die gleiche Theilung wird durch die Anordung des beweglichen und festen Theiles gegeneinander (hauptsächlich das vollkommene Ausbalanciren) erreicht, die größere Theilung an der Gebrauchsstelle ermöglicht die Inanspruchnahme eines Übergewichtes oder magnetischer oder elektrischer Einflüsse an dieser Stelle; die letzteren Mittel sind auch geeignet zur Herstellung jeder gewünschten Skala.

4. Das Instrument muss handlich und billig sein, d. h. es muss eine einfache Konstruktion und mechanische Ausführung, sowie billiges Materiale Verwendung finden.

Die Erreichung der Eigenschaften unter 1 und 2 ist bei jeder elektrischen Beleuchtungsanlage von ganz besonderer Bedeutung. Sind diese Eigenschaften mangelhaft, so zeigt das Instrument unrichtig und die gemessene Leistung der Anlage wird zu klein oder zu groß sein; ist dieselbe zu klein, so entspricht sie ihrem Zwecke nur unvollkommen, ist dieselbe zu groß, dann versagt entweder der Antriebsmotor oder die Isolation der elektrischen Maschine, der Leitungen und der Bogenlampen leiden Schaden und die Lebensdauer der Glühlampen wird verkürzt.

Zur Messung von Gleich- und Wechselstrom mit derselben Aichung sind nur der in § 87, Fig. 105, angeführte Wechselstromvoltmesser von Cardew (für Spannungsmessungen) und die Instrumente von Geyer & Brystol (für Strom- und Spannungsmessungen), da dieselben auf der Längenausdehnung eines Drahtes durch Erwärmung infolge des Stromes beruhen, sowie das Elektrodynamometer von Siemens & Halske (für Strom- und Spannungsmessungen), verwendbar.

Die in § 83 angeführten 3 Gruppen der Messinstrumente müssen für Wechselstrom eigens geaicht werden. Schaltet man ein Gleichstrominstrument in einen Wechselstromkreis ein, so bleiben die Angaben desselben bedeutend zurück.

5. Das Galvanometer darf von in der Nähe befindlichen Strömen und Magneten nicht beeinflusst werden. Zu diesem Zwecke werden an den Instrumenten in der Richtung von nahen Strömen und Magneten Eisenmäntel angebracht.

94. Die Prüfung der industriellen Galvanometer besteht

1. in der Prüfung der Haupteigenschaften,

2. in der Vergleichung der Angaben des Instrumentes mit denen eines Normalinstrumentes und

3. in der Prüfung der Isolation.

Die Prüfung der Isolation geschieht durch die Messung des Widerstandes zwischen den Windungen und dem Körper des Instrumentes und kann schon, bei nicht lebensgefährlichen Spannungen, durch Berühren der Klemmen mit der einen Hand und durch augenblickliches Berühren des Körpers mit der anderen Hand ermittelt werden (Physiologische Wirkung).

95. Der Berechnung der in § 83 angeführten industriellen Galvanometer liegt das Ohm'sche Gesetz:

$$W = \frac{E}{J} \text{ zu Grunde.}$$

1. Volt- und Ohmmesserberechnung:

Die Widerstände dieser Instrumente bestehen gewöhnlich aus Kupfer (wirksamer Widerstand) und Neusilber, Rheotan oder Konstantan (Zusatz- oder Ballast-Widerstand). Der sogenannte wirksame Widerstand besteht aus Kupfer, weil es erforderlich ist, viele Windungen von geringem Widerstande auf das Eisen einwirken zu lassen. Der Zusatzwiderstand besteht aus Neusilber, Rheotan oder Konstantan, weil der specifische Widerstand des Neusilbers etwa 20, der des Rheotans etwa 30 oder des Konstantans etwa 40 mal so groß ist, als der specifische Widerstand des Kupfers (0·0166) und das Raumerfordernis für Drähte aus diesen Metallen selbst bei Instrumenten mit sehr hohen Spannungen oder Widerständen ein geringes ist. Die Neusilber- (Rheotan, Konstantan-) und Kupferwindungen sind hintereinander geschaltet. Da der Neusilberdraht gewöhnlich der dünnere ist und eine geringere Beanspruchung zulässt, als der Kupferdraht, wird die zulässige Beanspruchung in Ampère für 1 mm^2 auf das Neusilber bezogen.

Die folgenden Beispiele stützen sich auf die zweckentsprechenden Annahmen:

a) Die zulässige Beanspruchung des Neusilbers für 1 mm^2 sei etwa 1 Ampère.

b) Der Durchmesser des Zusatzdrahtes betrage 0·2 *mm* (Querschnitt = 0·0314 *mm*²).

c) Der wirksame Widerstand messe 400 Ohm.

Beispiel: Auf Grund der letzten Annahmen sind Voltmesser für die maximalen Spannungen von 10, 50, 100, 200 und 1000 Volt zu berechnen.

Maximale Spannung	Gesammtwiderstand $W = \frac{E}{J}$	Zusatz-Widerstand
10 Volt	$\frac{10}{0{\cdot}03} =$ 333 Ohm	0 Ohm
50 „	$\frac{50}{0{\cdot}03} =$ 1666 „	1266 „
100 „	$\frac{100}{0{\cdot}03} =$ 3333 „	2933 „
200 „	$\frac{200}{0{\cdot}03} =$ 6666 „	6266 „
1000 „	$\frac{1000}{0{\cdot}03} =$ 33333 „	32933 „

Aus diesen Beispielen ersieht man, dass der Gesammtwiderstand eines Voltmessers, bei Berücksichtigung der obigen Annahmen, beiläufig der dreißigfachen maximalen Spannung gleich ist.

Da nach Annahme der wirksame Widerstand jedes Voltmessers rund 400 Ohm beträgt, so ergeben sich die Zusatzwiderstände aus den Gesammtwiderständen durch einfache Subtraktion.

Widerstand = Gesammtwiderstand — 400 Ohm.

2. Ampèremesserberechnung. Diese Instrumente berechnet man nach denselben Regeln wie die Voltmesser.

96. Schaltungen der industriellen Galvanometer. Die Widerstände der Volt- und Ohmmesser (Widerstand und Zusatz) werden hintereinander geschaltet. Die von mir bei Ampèremessern zumeist angewendeten Schaltungen sind:

1. Die Schaltung sämmtlicher Windungen hintereinander. Ein Ampèremesser mit einem Umschalter versehen, welcher gestattet, einen Theil, zwei-, drei-, vier-, allgemein *n*-Theile der Windungszahl in den Stromkreis hintereinanderzuschalten, zeigt die einfachen, doppelten, dreifachen, vierfachen, allgemein *n*-fachen Stromstärken an. Ist den hinterein-

ander geschalteten Windungen der einfache, zweifache, dreifache, allgemein n-fache Widerstand derselben parallel geschaltet, so sind die Angaben desselben mit zwei, drei, vier, allgemein $n + 1$ zu multipliciren.

2. Die Parallelschaltung sämmtlicher Windungen. Diese Schaltung wird für hohe Stromstärken angewendet.

3. Die Hintereinander- und Parallel-Schaltung sämmtlicher Windungen. Werden bei einem Instrumente die Windungen hintereinander und parallel geschaltet, so erhält dasselbe zwei Skalen und kann für niedere und hohe Stromstärken Verwendung finden.

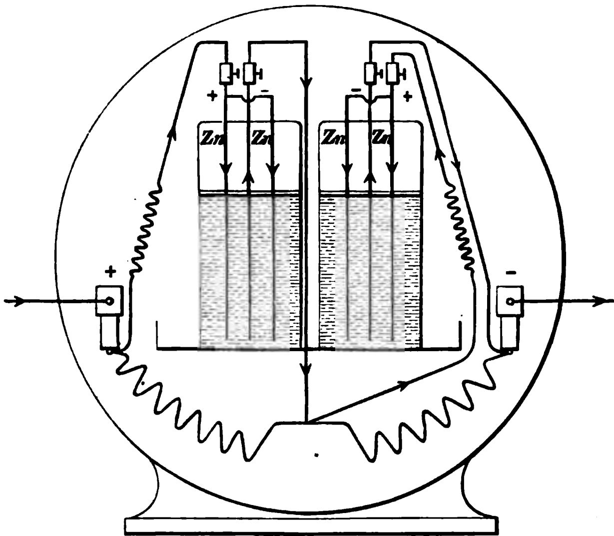


Fig. 114.

IV. Elektrische Arbeitsmesser (Elektricitätszähler).

97. Einleitung und Eintheilung. Die elektrische Arbeit wird durch das Produkt aus Ampère × Volt × Zeit ausgedrückt (§ 49). Die bisherigen Instrumente gestatten durch eine Beobachtung immer nur eine Konstante des elektrischen Stromes zu messen.

Apparate, welche durch eine einzige Beobachtung die elektrische Arbeit messen, nennt man elektrische Arbeitsmesser.

Dieselben werden eingetheilt in:

1. Coulombmesser, 2. Voltcoulombmesser und 3. Voltampère- oder Wattmesser.

98. Die Coulombzähler. Bleibt bei einer geleisteten elektrischen Arbeit die Spannungsdifferenz gleich (konstant), so braucht man nur

die gelieferte Elektricitätsmenge (Coulomb) zu messen, denn 1 Ampère in der Sekunde = 1 Coulomb (§ 44) gibt mit der konstanten Spannung multiplicirt, die elektrische Arbeit.

1. Der Coulombzähler von Edison, Fig. 114. Edison misst die Coulomb auf elektrolytischem Wege (§ 34) durch zwei Zinkvoltameter; diese bestehen aus von einander isolirten Zinkplatten *Zn*, welche in eine 20% Zinkvitriollösung eingetaucht sind. Das Zinkvitriol, bestehend aus Zink und Schwefelsäure, wird durch den elektrischen Strom in diese seine Bestandtheile zerlegt; das Zink scheidet sich an der negativen, die Schwefelsäure an der positiven Zinkplatte ab. Die Gewichtsabnahme der positiven Platte dient als Maß des Stromes (§ 44, ein Coulomb zersetzt in 1 Sekunde 0·3371 *mg* Zink). Dieser Elektricitätszähler wird in eine Zweigleitung, Fig. 114, eingeschaltet und darf nur bis zu einer maximalen Stromstärke beansprucht werden.

Beispiel einer ausgeführten Messung.[1]) Konstante des Apparates: 1 *mg* aufgelöstes Zink = 1 Lampenstunde.

1888	Plattengewichte und Lampenstunden						
	Dat.	Gew.	Dat.	Gew.	Dat.	Gew.	
eingesetzt	12·5	225·32	19·5	230·09	26·5	215·31	
herausgenommen	19·5	224·81	26·5	228·88	2·6	214·47	
Differenz		0·51		1·21		0·84	
Lampenstunden		510		1210		840	2560
eingesetzt u. s. w.							

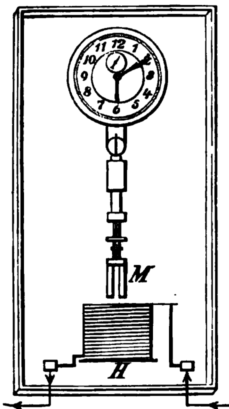


Fig. 115.

2. Der Coulombzähler von H. Aron, Fig. 115, besteht aus einer Pendeluhr; die Pendellinse ist durch einen Stahlmagnet *M* ersetzt, welcher durch die Hauptstromspule *H* so beeinflusst wird, dass das Pendel rascher schwingt.

Dieser Elektricitätszähler ist mit einer Normaluhr (Uhr im Messraume, eventuell Taschenuhr des Controlirenden) auf gleiche Schwingungsdauer einregulirt.

Beispiel einer ausgeführten Messung:[2])

[1]) Grawinkel und Strecker 1888, Seite 215.
[2]) Grawinkel und Strecker 1888, Seite 216.

Voreilung	Ampèrestunden	Lichtstunden à 0·75 Ampèrestunden
1 Minute	6·0	8·0

1 Ampèrestunde = 13·33 Schwingungen Voreilung.
1 Minute = 80 Schwingungen.

18.......		Normal-uhr	Elektricitätszähler	Ganze Differenz		Letzte Differenz		Lichtstunden
Monat	Datum			Stunden	Min.	Stunden	Min.	
Mai	1	1032	1115	0	43	1	7	536
„	8	819	109	1	50	2	3	984
„	15	1117	320	3	53	0	58	464
„	22	350	841	4	51	0	7	56
„	29	125	53	4	58	1	15	600
Juni	5	925	338	6	13			

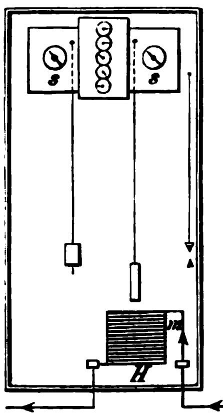


Fig. 116 a.



Fig. 116 b.

3. **Der neuere Elektricitätszähler von H. Aron**, Fig. 116 a. Das einfache Uhrwerk des letzten Zählers ist ersetzt durch ein Differenzialuhrwerk mit 2 Pendeln. Die Pendellinse des rechten Pendels ist ein Stahlmagnet, unterhalb welchem sich wieder die Hauptstromspirale befindet; wird letztere von einem Strome durchflossen, so

schwingt, falls beide Pendel auf gleiche Schwingungsdauer eingestellt waren, das rechte Pendel desto schneller, je größer die Stärke des Stromes ist. Fig. 116 b zeigt den Amperestundenzähler für das Dreileitersystem (Gleichstrom).

Die Konstanten der Elektricitätszähler in Fig. 115 und Fig. 116 müssen, sowie diejenigen sämmtlicher Apparate mit Stahlmagneten, oft neu bestimmt werden.

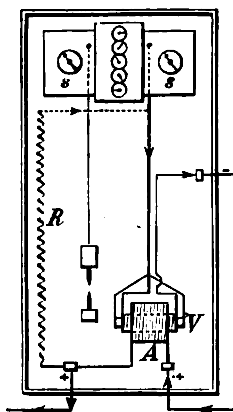


Fig. 117 a.


Fig. 117 b.

99. Die Voltcoulombzähler (Voltcoulombmesser).

1. Die Voltcoulombzähler von Ayrton & Perry und von Siemens & Halske beruhen im Principe auf dem Elektrodynamometer der letzteren Firma (§ 77). Die dünnen Windungen geben ein Maß für die Spannungsdifferenz, die bewegliche dicke Windung gibt ein Maß für die Stromstärke.

2. Der Voltcoulombzähler (Wattstundenzähler) von H. Aron, 117 a und 117 b. Der Hauptbestandtheil dieses Elektricitätszählers ist der des Coulombzählers, Fig. 116, ein Differentialuhrwerk mit zwei Pendeln von gleicher Schwingungsdauer. Die Linse des rechten Pendels ist durch eine Rolle mit dünnem Drahte (Voltrolle) *V* ersetzt, welche in einer zweiten Rolle mit dickem Drahte (Ampèrerolle) *A* frei schwingt. Die gegenseitige Einwirkung der beiden Rollen aufeinander misst die elektrische Arbeit (Voltampère in der Sekunde).

Bei den neuen Instrumenten dieser Konstruktion ist der Zusatzwiderstand zur Voltrolle auf einer in dem Apparatkasten links befestigten Messingröhre *R* aufgewickelt.

In Fig. 117 b ist derselbe Wattstundenzähler in perspektivischer Ansicht wiedergegeben.

Bei der Montage und Inbetriebsetzung der Aron'schen Apparate, Fig. 116 und Fig. 117, ist insbesondere auf die senkrechte Aufhängung derselben und die gleiche Schwingungsdauer der beiden Pendel (ohne Strom) zu achten. Die Nachregulirung auf gleiche Schwingungsdauer erfolgt am linksseitigen Pendel; der Gang der Pendel ist derselbe, wenn die auf beiden Seiten des Zifferblattes befindlichen Springer *s* stets dieselbe Lage gegen einander beibehalten.

Die Zähler Fig. 115 und Fig. 116 werden in die Hauptleitung, gerade so wie ein Ampèremesser, eingeschaltet; bei dem Zähler in Fig. 117 wird die Ampèrerolle ebenfalls wie ein Ampèremesser, die Voltrolle wie ein Voltmesser eingeschaltet.

Der eine Pol der Voltrolle wird in der Regel von der durch das Instrument führenden Hauptleitung, der zweite Pol von der Dynamomaschine abgezweigt. Die Gebrauchsanweisung dieses Elektricitätszählers ist von dem Erfinder folgend übersichtlich zusammengestellt worden:

Wichtige Punkte, welche bei der Montage des Aron'schen Elektricitätszählers zu beachten und die in der Anweisung genauer erläutert sind:

1. Wahl eines Ortes für die Aufhängung des Zählers, der möglichst trocken und bequem erreichbar sein soll. Vorsichtige Entfernung der Bindfäden.

2. Lothrechte Aufhängung nach dem linken Pendel.

3. Gute Befestigung des Gehäuses.

4. Controlirung des Abfalles bei beiden Pendeln gemäß Anweisung.

5. Man regulire die Werke nach der Anweisung, indem man die springenden Zeiger zu beiden Seiten des Differentialwerkes beobachtet.

6. Nach der Regulirung schalte man den Zähler in den Stromkreis und beobachte, am besten mit einem Polsucher, ob die Pole richtig angeschlossen sind.

7. Im Anfange lese man täglich ab, um sich zu überzeugen, dass der Zähler richtig funktionirt.

8. Hierauf ziehe man den Zähler monatlich und regelmäßig auf und lese ab.

9. Beim Ablesen sehe man nach, ob die Pendel schwingen; steht eines der Pendel, so ist das Resultat der Ablesung unrichtig.

10. Für die Ablesung dienen folgende Beispiele, die Berechnung zeigt das folgende Schema:

Zähler Nr. 4285 für 50 Ampère.

1 Strich = 1·07 Ampère-Stunden.

Datum	Stand der Zähler	Differenz	Ampère-Stunden
2. März	0		
3. April	119	119	127·3
1. Mai	397	278	297·5
2. Juni	1101	704	753·3
30. „	1998	897	959·8
2. August	3229	1231	1317·2

In den nachfolgenden 3 Figuren 118a bis 118c sind die Zeigerstellungen der Ablesungen vom 1. Mai, 2. Juni und 30. Juni abgebildet. Ehe man die nöthige Uebung im Ablesen hat, fange man mit den Einern des obersten Zifferblattes an und schreibe die Zahlen von rechts nach links; man beachte die Ablesung vom 1. Mai, wo man 397 und nicht 497 abzulesen hat, da sonst am dritten Zifferblatte der Zeiger nicht nahe der 4, sondern in der Nähe der 5 stehen müsste, weil 397 nahe 400, nicht nahe 500 ist. H. Aron hat seine Wattstundenzähler auch für das Dreileitersystem und für Wechsel- und Drehstrom eingerichtet.

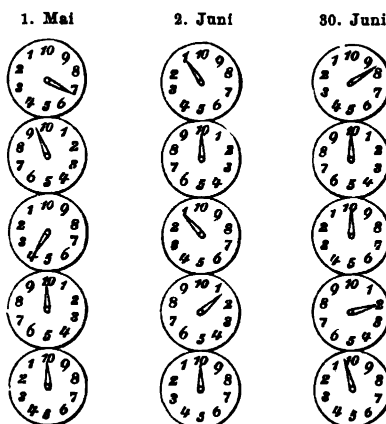


Fig. 118a. Fig. 118b. Fig. 118c.

3. Weitere Voltcoulombzähler wurden ausgeführt von Wilhelm Siemens, F. Uppenborn, J. Baumann und Anderen.

100. Die Voltampère- oder Wattzähler messen das Produkt aus Volt × Ampère × Zeit.

Instrumente dieser Art sind: die Elektricitätszähler von Ayrton & Perry, Siemens & Halske, Ganz & Co. (Blàthy). Diese Apparate beruhen, wie die im § 125 angeführten, im Principe auf dem Elektrodynamometer von Siemens & Halske.

Die Angaben sämmtlicher Messinstrumente sind von Zeit zu Zeit zu prüfen.

III. Abschnitt.

Elektrische Maschinen und Motoren.

I. Kapitel.

Einleitung und Eintheilung.

101. Im Herbste des Jahres 1831 entdeckte Faraday nach einer Reihe genialer Versuche und Folgerungen, dass durch Rotation eines geschlossenen Leiters in einem magnetischen Felde (z. B. zwischen zwei Magnetpolen) oder durch Aenderungen in der Stärke des Feldes ein Strom erzeugt wird, und erfand durch den Apparat, welchen er bei seinen Versuchen verwendete und „eine magnet-elektrische Maschine" nannte, die erste elektrische Maschine.

Wilde aus Manchester erzeugte (1863) mit seiner magnet-elektrischen Maschine mit separat erregten Elektromagneten zuerst starke elektrische Ströme in verhältnismäßig kleinen Maschinen, indem er den Stahlmagnet der magnet-elektrischen Maschine durch einen Elektromagnet ersetzte und letzteren durch eine magnet-elektrische Maschine erregte.

In der Sitzung vom 17. Jänner 1867 überreichte Magnus der königl. Akademie der Wissenschaften zu Berlin die berühmte Abhandlung von Werner von Siemens: „Ueber die Umwandlungskraft von Arbeitskraft in elektrischen Strom ohne Anwendung permanenter Magnete." [1])

Diese Abhandlung enthielt die Mittheilung von der Erfindung der dynamoelektrischen Maschine, in welcher anstatt des Stahlmagnetes der magnetelektrischen Maschine ein selbsterregender Elektromagnet verwendet wird; erst diese Maschine war zur Erzeugung der Elektricität im Großen geeignet.

Die elektrischen Maschinen sind:

1. Stromerzeuger (Primäre Maschinen oder Generatoren), wenn sie von einem Motor (Dampfmaschine, Wasser- oder Gasmotor u. s. w.) angetrieben werden.

2. Triebmaschinen (Kraftgeber, Stromkraftmaschinen, Elektromotoren, Sekundäre Maschinen oder Receptoren), wenn sie von einer anderen elektrischen Maschine Strom erhalten.

---

[1]) Wissenschaftliche und technische Arbeiten von Werner Siemens, 1891, I. Band, Seiten 208 ff.

Die elektrischen Maschinen[1]) werden

a) in magnetelektrische Maschinen mit Dauermagneten und mit separat erregten Magneten, sowie

b) in dynamoelektrische Maschinen eingetheilt.

II. Kapitel.

Magnetelektrische Maschinen.

102. Magnetelektrische Maschinen mit Dauermagneten. Nach Faraday (1831) sind diese Maschinen von Dal Negro, Pixii (1832), Saxton (1833), Ettinghausen (1837), Stöhrer (1849), sechspolige Maschine und Anderen gebaut worden. Holmes hat die erste zur Erzeugung des elektrischen Lichtes im Großen angewendete Maschine konstruirt; die sogenannte Alliance Wechselstrommaschine ist eine Abänderung der letztgenannten Maschine und wurde schon im Jahre 1864 zur Erzeugung des elektrischen Lichtes in Leuchtthürmen (La Hève, Griz-Nez bei Calais, Kronstadt, Odessa u. s. w.), auf Schiffen, zu Fabriksbeleuchtungen u. s. w. verwendet.

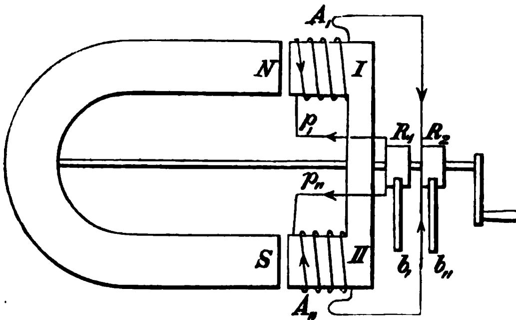


Fig. 119 a.

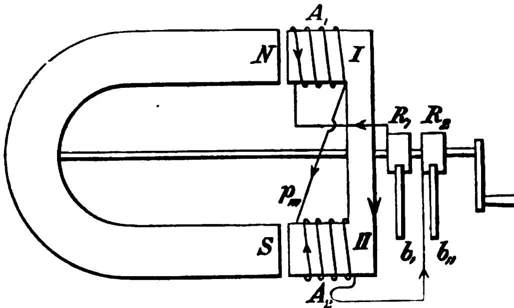


Fig. 119 b.

Fig. 119 a stellt die magnet-elektrische Maschine von Pixii (1832) mit hintereinander, Fig. 119b mit parallel geschalteten Induktorwindungen dar. Die Maschine von Pixii besteht

[1]) Die pyromagnetischen Maschinen, welche durch die Veränderlichkeit der Leitungsfähigkeit des Eisens mit der Temperatur Induktionsströme erzeugen, sollen hier nicht ausführlicher besprochen werden.

aus zwei mit einander durch die eiserne Armatur von I bis II verbundenen Eisenkernen dem Induktor $A_{,}$ $A_{,,}$, welcher mit isolirtem Drahte bewickelt ist. Durch Rotation des Induktors vor den Polen des Hufeisenmagnetes NS oder durch Rotation des letzteren vor dem Induktor $A_{,}$ $A_{,,}$ (Saxton 1833, Clarke 1836) werden in den Windungen $A_{,}$ und $A_{,,}$ elektrische Ströme inducirt.

Nach dem Vorgange der magnetischen Influenz (§ 38, Fig. 33) sind die Ampère'schen Molekularströme im inducirenden und inducirten Eisen einander entgegengesetzt gerichtet. Die Stromrichtung ergibt sich deshalb aus folgender Regel:

Die in dem Induktor erzeugten Ströme haben die entgegengesetzte Richtung zu den Molekularströmen, in derem magnetischen Felde sie sich befinden.

Rotirt in Fig. 119a der Induktor, von den Ringen R_1 R_2 aus gesehen, im Sinne der Bewegung eines Uhrzeigers, so wird in den Windungen $A_{,,}$, während dieselben hinter der Zeichnungsebene aus dem magnetischen Felde des Nordpoles N in das des Südpoles S übergeht, ein Polwechsel im Induktoreisen stattfinden und da jetzt dem Südpole S gegenüber in $A_{,,}$ ein Nordpol entsteht, ein Strom in der Richtung des Pfeiles $p_{,,}$ erzeugt; gleichzeitig bewegt sich der Induktortheil $A_{,}$ vor der Zeichnungsebene von S nach N und der in seinen Windungen inducirte Strom hat, da sein Eisenkern südmagnetisch wird, die Richtung des Pfeiles p_1; bei einer weiteren halben Umdrehung des Induktors werden die in denselben Windungen inducirten Ströme die entgegengesetzte Richtung haben (Wechselstrom).

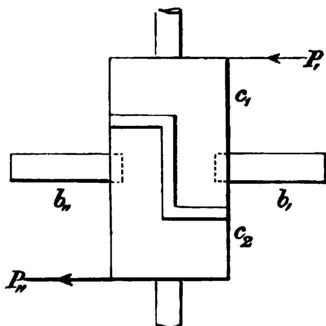


Fig. 120.

Bei entgegengesetzten Umdrehungsrichtungen sind auch die Stromrichtungen entgegengesetzt.

Gleichgerichtete Ströme erhält man durch Anwendung eines Kommutators C_1 und C_2, Fig. 120, anstatt der Ringe R_1 und R_2, Fig. 119a und 119b. Der Kommutator C_1 C_2 besteht aus den zwei von einander isolirten Theilen C_1 und C_2. Ist z. B. bei der ersten halben Umdrehung die Stromrichtung durch die Pfeile $P_{,}$ und $P_{,,}$ gegeben, so erhält C_1 positiven, C_2 negativen Strom. Bei der zweiten halben Umdrehung ist die Stromrichtung die den Pfeilen $P_{,}$ und $P_{,,}$ entgegengesetzte und da

jetzt die Bürsten $b_{,}$ und $b_{,,}$ auf den entgegengesetzten Kommutatortheilen schleifen, erhält $b_{,}$ wieder positiven, $b_{,,}$ wieder negativen Strom (Gleichstrom).

Aus den Fig. 119 a und Fig. 119 b ist es ersichtlich, dass sich der Induktor $A_{,} A_{,,}$ nur kurze Zeit in einem magnetischen Felde (vor den Polen) befindet. Eine Verbesserung zeigten die mehrpoligen magnetelektrischen Maschinen, bei welchen drei oder mehrere Hufeisenmagnete auf drei oder mehrere rotirende Induktoren inducirend wirkten (Stöhrer's Maschine, Alliancemaschine).

Der erste Induktor, welcher immer in einem magnetischen Felde rotirt, ist der Doppelt-T-Anker von Werner v. Siemens (1857), Fig. 121 a; derselbe besteht aus einem Eisencylinder mit zwei einander

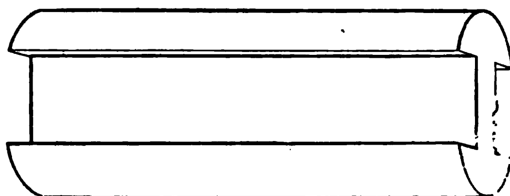


Fig. 121 a.

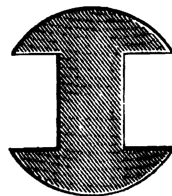


Fig. 121 b.

gegenüber liegenden Längsrinnen, welchen man sich aus lauter übereinander befestigten Doppelt-T-förmigen Eisenblechen, Fig. 121 b, entstanden denken kann. Der Doppelt-T-Anker wird auch Cylinderinduktor genannt.

In den folgenden Figuren 122 a bis 122 e sind die den verschiedenen Viertelumdrehungen dieses Induktors entsprechenden Stellungen desselben sammt Stromrichtungs-, Strom- und Polwechselanzeige zum Ausdrucke gebracht.

+ bedeutet einen austretenden Strom,

— „ „ eintretenden Strom, die Punkte *a* und *b* deuten die Ankerwindungen an, die Pfeile machen die Umdrehungsrichtungen ersichtlich.

Wenn die Windungen senkrecht übereinander liegen, findet Stromwechsel, wenn dieselben horizontal nebeneinander liegen, Polwechsel statt.

Die Bürsten schleifen

1. auf zwei Ringen, wie in Fig 119 a und 119 b (Wechselstrom), oder

2. auf einem Kommutator, Fig. 120 (Gleichstrom).

I. Polwechsel.

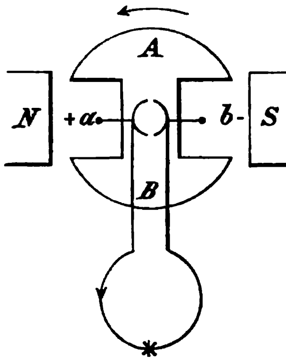


Fig. 122 a.

II. Stromwechsel.

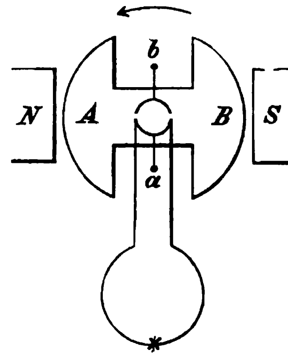


Fig. 122 b.

III. Polwechsel.

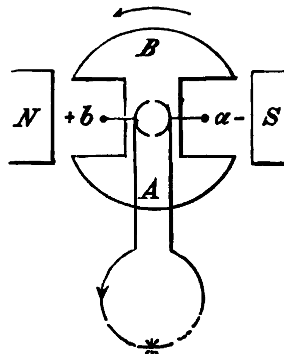


Fig. 122 c.

IV. Stromwechsel.

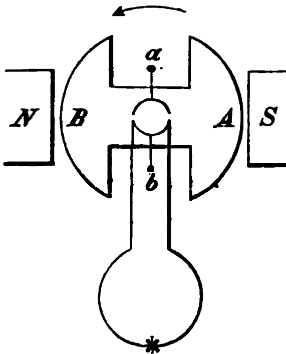


Fig. 122 d.

I. Polwechsel.

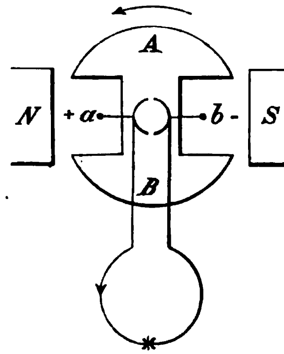


Fig. 122 e.

Der Doppelt-T-Anker nimmt in der Geschichte der Lichtmaschinen eine hervorragende Stellung ein. Derselbe stellte nicht nur die beste Ankerform der magnetelektrischen Maschinen mit Dauermagneten dar, sondern fand auch bei der ersten elektrischen Maschine mit separater Erregung (Wilde) und bei der ersten dynamoelektrischen Maschine (Werner von Siemens) als Induktor Anwendung.

Bewegungsphasen des Induktors.

Die Maschinen mit Dauermagneten muss man von Zeit zu Zeit zerlegen, um die Magnete nachzumagnetisiren; schon von Hjorth (1854), Sinsteden (1861) und Anderen wurde zu diesem Zwecke eine dynamoelektrische Selbsterregung angewendet, indem die Dauermagnete (Stahlmagnete, Hufeisenmagnete, permanente Magnete) mit isolirten Windungen umgeben und in den Stromkreis der Maschine eingeschaltet wurden.

Der Doppelt-T-Anker gibt nur zeitweise (periodische) Ströme, weil die Windungen nicht auf der ganzen Oberfläche des Ringes angebracht sind; ununterbrochene (continuirliche) Ströme liefern die später zu beschreibenden Ring-, Trommel- und Anderen Anker.

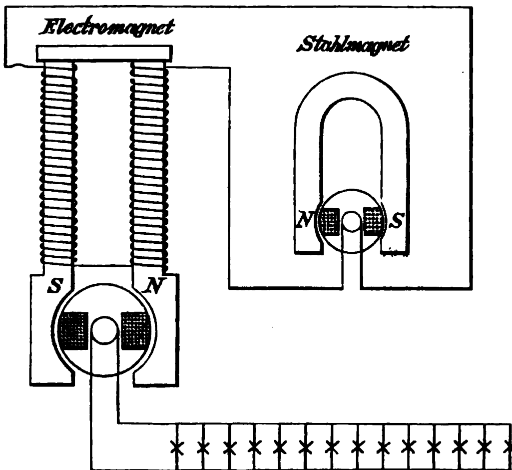


Fig. 123.

103. Elektrische Maschinen mit separat erregten Magneten (Wilde 1863), Fig. 123. Die Hauptbestandtheile dieser Maschine sind:

1. Eine Induktionsmaschine mit Elektromagneten, welche den Außenstrom erzeugt.

2. Eine Induktionsmaschine mit Stahlmagneten oder eine Stromquelle (z. B. Batterie), welche zur Erregung der Elektromagnete der ersten Induktionsmaschine in die Magnetwindungen derselben eingeschaltet ist. In der Maschine von Wilde waren beide Induktoren Siemens'sche Doppelt-T-Anker.

III. Kapitel.

Dynamoelektrische Maschinen und Motoren.

I. Die Erzeugung von Strom und Kraft.

104. Das dynamoelektrische Princip.

Die magnetelektrischen Maschinen zeigen insbesondere zwei Uebelstände:

1. Die Kosten der Erzeugung stellen sich sehr hoch. Eine Maschine für halbwegs große Leistungen hat im Verhältnis zu ihrer Nutzarbeit sehr große Abmessungen.

2. Die Magnete müssen von Zeit zu Zeit nachmagnetisirt werden.

Dem 2. Uebelstande wurde theilweise dadurch abgeholfen, dass man die Stahlmagnete mit Wickelungen versah, die das Nachmagnetisiren erleichterten. Während man früher die Maschinen zerlegen musste, um die Stahlmagnete wieder auf die Höhe ihrer Leistung zu bringen, konnte jetzt durch die Wickelungen Strom geschickt und so einfacher die Nachmagnetisirung besorgt werden.

Die elektrische Maschine mit fremd erregten Magneten von Wilde, Fig. 123, ermöglichte wohl die Erzeugung der Elektricität in jeder gewünschten Stärke, besaß jedoch immer noch den Nachtheil, einer fremden Stromquelle zur Erregung des wirksamen Magnetismus zu bedürfen.

Dieses Hindernis, welches sich der Verwendung der Elektricität für die Zwecke des praktischen Lebens entgegenstellte, beseitigte im Jahre 1867 Werner von Siemens durch die hervorragendste Erfindung auf dem Gebiete der Starkstromelektrotechnik, durch die Erfindung der Selbsterregung der elektrischen Maschinen. Werner von Siemens wieß nach, dass ein einmaliges Magnetisiren der Eisenkerne von Elektromagneten genügt, um die elektrische Maschine ohne fremde Stromquelle in Thätigkeit zu setzen, nannte diese Selbsterregung das dynamoelektrische Princip und die nach diesem Principe zuerst von ihm gebauten Maschinen „Dynamoelektrische Maschinen und Motoren."

105. Die Dynamomaschine und der Elektromotor.

Die dynamoelektrischen Maschinen, auch kurz Dynamo-(Kraft-)Maschinen genannt, erzeugen elektrische Ströme durch mechanische Kraft.

Durch die Rotation der geschlossenen Windung (S. 39, Fig. 59) zwischen den Elektromagnetpolen entsteht, da jedes weiche Eisen zurück-

bleibenden Magnetismus [1]) besitzt, in der Windung ein elektrischer Strom von ganz geringer Stärke. Dieser Strom (Serienmaschine) oder ein Theil desselben (Nebenschlussmaschine) wird durch die Windungen des Elektromagnetes geschickt und verstärkt den Magnetismus desselben; durch den kräftigeren Elektromagnet wird in der Windung wieder ein

Gleichstrom.

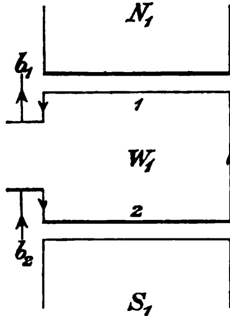


Fig. 124a.

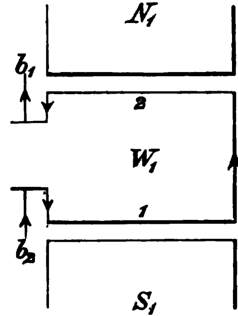


Fig. 124b.

Wechselstrom.

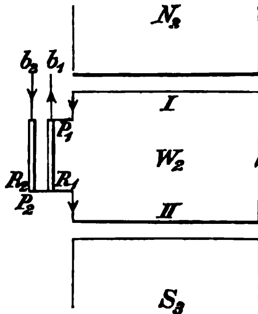


Fig. 125a.

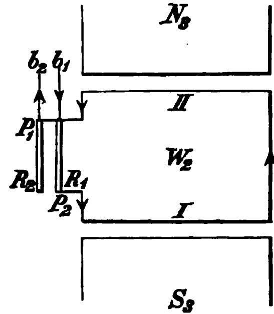


Fig. 125b.

stärkerer Strom inducirt u. s. w. Schon nach einigen Sekunden erreicht der Strom in der Windung (beziehungsweise in den Windungen) seine volle Stärke.

In den Figuren 124 bis 127 bezeichnen die Buchstaben *N* Nordpole, die Buchstaben *S* Südpole, die Pfeile *U* die Richtungen der Umdrehungen der Induktoren, die stark markirten Punkte feste Verbindungen, die übrigen Pfeile Richtungen der inducirten Ströme.

---

[1]) Falls der zurückbleibende Magnetismus des Eisens unzulänglich ist, genügt ein einmaliges Magnetisiren desselben von einer fremden Stromquelle aus.

Die Erzeugung des Stromes in einer dynamoelektrischen Maschine erfolgt dadurch, dass geschlossene Leiter, z. B. die Windungen W_1 W_1, Fig. 124a und Fig. 124b, in einem magnetischen Felde (in der Nähe eines Eisenkörpers), N_1 S_1 rotiren (Faraday 1831). Dabei müssen sich die Windungen so bewegen, dass sie von den Kraftlinien des Feldes geschnitten werden. Jedes Eisen besitzt von Natur aus einen bestimmten minimalen Magnetismus. Stellen z. B. N_1 und S_1, Fig. 124a, N_1 und S_1, Fig. 124b, N_3 und S_3, Fig. 125a, und N_3 und S_3, Fig. 125b, die Pole eines Eisenkörpers dar und es rotiren die Windungen W_1 W_1, Fig. 124a und 124b, W_2 W_2, Fig. 125a und 125b, zwischen denselben, so wird in ihnen ein Strom inducirt, dessen Richtung sich in sehr einfacher Weise nach dem Gesetze von Lenz, nach den praktischen Regeln von Ampère, Faraday, J. A. Fleming,[1] A. von Waltenhofen[2] und nach einer von mir angegebenen Regel[3] bestimmen lässt. Die letzte Regel lautet:

„Bei Linkslauf einer elektrischen Maschine haben Magnetismus und Elektricität an den Stirnflächen des Induktors dieselbe (bei Rechtslauf die entgegengesetzte) Richtung."

Auf den Enden der Windungen W_1 W_1, Fig. 124a und 124b, den Kollektorlamellen, schleifen die Bürsten b_1 und b_2, Fig. 124a und b_1 und b_2, Fig. 124b. Die in den Figuren 124 und 125 eingezeichneten Stromrichtungspfeile zeigen die Stromrichtungen an den Stirnflächen der Windungen und an den Bürsten der obigen Regel entsprechend, Linkslauf der Windungen (der Induktoren), von den Bürsten aus gesehen, vorausgesetzt, an.

Hat z. B. die Windung W_1, Fig. 124a, von den Bürsten b_1 und b_2 aus gesehen, Linkslauf, so bewegt sich der Theil 1 derselben aus der Zeichnungsebene hinter dieselbe. Das magnetische Feld ist immer vom Nordpole zum Südpole gerichtet (der Magnetismus fließt immer außerhalb des Magnetes von Nord nach Süd) und da die Windung Linkslauf hat, muss die Elektricität an der vorderen Stirnfläche ebenfalls von dem Nordpole nach dem Südpole (in derselben Richtung) fließen.

Sieht man den Induktor von der den Bürsten entgegengesetzten Seite an, so hat die Maschine Rechtslauf und in Uebereinstimmung damit fließt der Strom an der rückwärtigen Stirnfläche von Süd nach Nord, also in der entgegengesetzten Richtung wie der Magnetismus.

---

[1] Dr. J. A. Fleming, The Electrician, 14. Band, Seite 396.

[2] Dr. A. von Waltenhofen, Zeitschrift für Elektrotechnik, 1887, Seiten 263 ff.

[3] Elektrotechnische Rundschau, Frankfurt a./M., Jahrg. 1893, Heft 16; Elektrotechniker, Wien XII. Jahrg., Seite 569; Zeitschrift für Elektrotechnik, Wien, 1893, Seite 242; Bulletin de la Société internationale des électriciens, Tome X, Juin 1893, Seite 308; Elektrotechnischer Anzeiger, Berlin, 1893, Nr. 74.

In Fig. 124a tritt der Strom an der Bürste b_1 aus, an der Bürste b_2 ein. Denken wir uns nun die Windung W_1, Fig. 124a, um 180° gedreht, so dass sich der Theil 1 der Windung W_1 vor S_1 und der Theil 2 derselben Windung vor N_1, sowie es in Fig. 124b dargestellt ist, befindet, so wird der an den Bürsten b_1 und b_2 abgenommene Strom wieder dieselbe Richtung haben wie vor der Drehung, Fig. 124a. In

Gleichstrom.

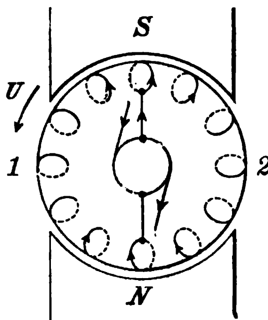


Fig. 126a.

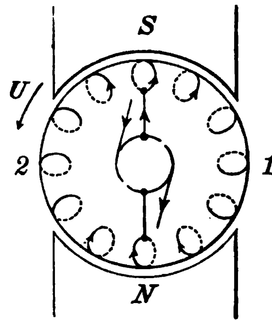


Fig. 126b.

Wechselstrom.

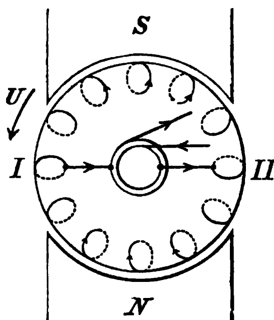


Fig. 127a.

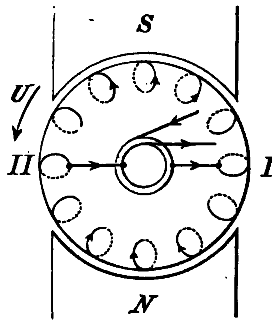


Fig. 127b.

den Theilen 1 und 2 der Windung W_1, Fig. 124b, wird jetzt der entgegengesetzt gerichtete Strom erzeugt, da jedoch die Bürsten mit den Enden der Windung W_1 nicht fest verbunden sind und jetzt b_1 auf 2 schleift, hat der Strom in der Bürste b_1 die frühere Richtung.

Dreht man die Windung W_1 aus der in Fig. 124b gegebenen Stellung um 180° weiter, dann gilt wieder das für Fig. 124a Gesagte und das Spiel der Stromerzeugung und Abnahme wiederholt sich in der oben beschriebenen Weise.

Die Stromrichtung an den Bürsten bleibt immer dieselbe, jede Bürste erhält immer von demselben Pole Strom, Gleichstrom.

In den Fig. 125a und 125b stellen R_1 und R_2 Schleifringe dar, welche mit den Theilen I und II der Windung W_2 W_2 in den Punkten p_1 und p_2 fest verbunden sind. Befindet sich Fig. 125a, der Theil I der Windung W_2 vor N_3, dann fließt der Strom an der Bürste b_1 in der eingezeichneten Richtung, steht derselbe Theil, nach einer halben Umdrehung vor S_3, dann erhält der Strom an der Bürste b_1, Fig. 125b, die entgegengesetzte Richtung. Ebenso wechselt die Stromrichtung an der Bürste b_2. Der durch Schleifringe abgenommene Strom wechselt also nach jeder halben Umdrehung der Windung (des Induktors) seine Richtung, die Schleifringe und Bürsten empfangen nach jeder halben Umdrehung Strom von den entgegengesetzten Polen, Wechselstrom (alternirender, undulatorischer, periodischer, pendulärer, harmonischer oder Wellenstrom).

In den Fig. 126a und 126b ist, sowie in den Fig. 124a und 124b, die Abnahme von Gleichstrom in den Fig. 127a und 127b, sowie in den Fig. 125a und 125b, die Abnahme von Wechselstrom versinnlicht. Die Figuren 124 und 125 und jene Fig. 126 und 127, stellen jedoch zwei aufeinander senkrechte Schnitte des Induktors dar. In den Fig. 124 und 125 ist der Induktor als Trommel, in den Fig. 126 und 127 als Ring gedacht.

Nimmt man anstatt von zwei, von mehreren Punkten, z. B. drei Punkten, durch drei Schleifringe Strom ab, so erhält man drei Wechselströme. Da diese drei Ströme an drei verschiedenen Stellen des magnetischen Feldes abgenommen werden, so müssen sie zu gleicher Zeit verschiedene Stärke, verschiedene Phase haben; man nennt sie deshalb Ströme von verschiedener Phase oder Mehrphasenströme.

Die Magnete der ein- und mehrphasigen Wechselstrommaschinen werden in der Regel durch Gleichstrommaschinen erregt (magnetisirt). Seltener wird bei Wechselstrommaschinen der Strom eines Theiles der Ankerwindungen als Gleichstrom abgenommen und zur Erregung der Magnete verwendet. Die Gleichstrommaschinen erregen sich dadurch selbst, dass ein Theil (Nebenschlussmaschine) oder der ganze Ankerstrom (Reihenmaschine) die Magnetwickelungen durchfließt, oder dadurch, dass der Elektromagnet eine Nebenschluss- und eine Reihenwickelung (Maschine mit gemischter Schaltung) erhält.

Bewegt man einen geschlossenen Leiter innerhalb eines magnetischen Feldes, so dass er die Kraftlinien desselben schneidet, dann entstehen in demselben elektromotorische Kräfte, welche eine Elektricitätsbewegung

herbeiführen. Die Magnete magnetisiren den Anker so, dass vor dem Nordpole des Magnetes ein Südpol und vor dem Südpole des Magnetes ein Nordpol im Ankereisen entsteht. Diese Pole des Ankers liegen (abgesehen von einer später zu beschreibenden Verschiebung, welche durch die Rückwirkung des Magnetismus des Ankers auf den der Magnete hervorgerufen wird) in der magnetischen Achse (Verbindungslinie der Pole) der Elektromagnete. Der im Anker inducirte Strom erzeugt magnetische Pole im Ankereisen, welche auf den durch die Magnete erzeugten senkrecht stehen.

Schickt man in den Anker Strom (§ 38, Fig. 44), so wird derselbe den Anker ebenfalls magnetisiren und zwar derart, dass dort, wo der Strom in die parallel geschalteten Ankerwindungen eintritt ein Süd-Süd- und diametral gegenüberliegend ein Nord-Nordpol entstehen. Sind die Elektromagnete gleichfalls vom Strome umflossen, so muss zwischen den Anker- und Magnetpolen eine Wechselwirkung eintreten. Der Anker-Südpol wird vom Magnet-Nordpole angezogen, vom Magnet-Südpole abgestoßen, der Anker-Nordpol dagegen wird vom Magnet-Nordpole abgestoßen und vom Magnet-Südpole angezogen. Weil sich diese gegenseitigen Wechselwirkungen summiren, muss eine Bewegung des Ankers eintreten, welche eine mechanische Leistung erzeugt.

Treibt man demnach eine Dynamomaschine an, so gibt dieselbe Strom (Dynamomaschine), schickt man in eine Dynamo Strom, so lauft dieselbe an und erzeugt Kraft (Elektromotor).

II. Wesentliche Bestandtheile.

106. Eintheilung. Die wesentlichen Bestandtheile der dynamoelektrischen Maschinen und Motoren sind:

1. Anker, Induktor oder Armatur.
2. Kollektor, Stromabnehmer, Stromsammler, Stromwender oder Kommutator.
3. Magnete, Feldmagnete oder Elektromagnete.
4. Bürstenapparat (Bürsten, Bürstenhalter, Bürstenstift und Bürstenhebel).

107. Der Anker besteht zumeist aus einem mit isolirten Kupferdrähten bewickelten Eisenkerne.

Der Eisenkern muss aus von einander wohl isolirten, weichsten Eisenblechen von 0·5 *mm* Durchmesser zusammengesetzt sein. Die Isolation bildet in der Regel dünnes Papier (1 Bogen = 0·04 *mm* dick). Seltener finden andere Isolationsmittel (z. B. Firnis, Zinkweiß, Asbestpapier, Glimmer u. s. w.) Verwendung. Kerne aus gefirnissten oder um-

sponnenen oder umpressten Eisendrähten sind nicht zu empfehlen. In einem massiven Eisenkerne entstehen, da derselbe ein Leiter der Elektricität ist, wenn derselbe in einem magnetischen Felde rotirt, sowie in den Kupferwindungen des Ankers elektrische Ströme (Wirbel- oder Foucault'sche Ströme).

Diese Ströme verlaufen in den Längsquerschnitten des Eisenkernes ähnlich wie die in den Kupferwindungen des Ankers inducirten Ströme und erfordern, sowie letztere Ströme eine, ihrer Stärke entsprechende, Kraft. Sie erwärmen den Eisenkern so stark, dass ein Dauerbetrieb ausgeschlossen erscheint und bedingen sehr hohe Verluste an Kraft.

Die Ankerkerne werden entweder direkt auf die Welle der Maschine aufgebaut (Siemenstrommeln) oder von einem Kreuze, welches auf die Welle des Ankers aufgekeilt ist, getragen (Siemenstrommeln und Grammeringe).

Mit Bezug auf die Wickelung unterscheidet man:

1. Grammeringe. Der Grammering ist ein ringförmiger Elektromagnet (§ 38, Fig. 44); er besteht demnach aus einem hohlen, mit isolirten Windungen umwickelten Eisenkerne (Eisenringe).

2. Siemenstrommel (F. von Hefner-Alteneck): Diese Ankerform geht aus dem, an seiner Oberfläche nur zumtheile bewickelten, Doppelt-T-Anker von Werner von Siemens dadurch hervor, dass die ganze Oberfläche des Eisenkernes bewickelt wird. Bei der Siemenstromme ist demnach die Wickelung auf der ganzen Oberfläche des Eisenkernes gleichmäßig vertheilt, so dass der ganze Eisenkern als von der Wickelung eingehüllt erscheint.

Während der Grammering hohl sein muss, da seine Wickelung auch durch den Hohlraum führt, kann die Siemenstrommel massiv sein, weil ihre Wickelung blos um den Eisenkern herumgeführt ist.

Auf dem Umfange des Eisenkernes können entweder eine Drahtlage oder mehrere Drahtlagen übereinander angebracht sein.

In den früheren Figuren 124, 125, 126 und 127 bestand der Anker aus einer einzigen Windung von deren Enden (Kollektortheilen) die Ströme entweder direkt durch die Bürsten oder durch zwei mit den Enden fest verbundene Schleifringe abgenommen wurden. Sind nun mehrere Windungen vorhanden, so werden diese hintereinander geschaltet und man kann

1. den Strom von zwei gegenüberliegenden Stellen zu zwei Kollektortheilen führen oder

2. die Ankerwickelung in eine gerade Anzahl gleicher Windungszahlen (Abtheilungen) theilen, von welchen aus Anschlüsse an die Kollektortheile, auf denen die Bürsten schleifen, erfolgen.

108. Die Ringe von Pacinotti und Gramme. Die ersten Anker mit einer gleichmäßigen ununterbrochenen Wickelung auf der ganzen Oberfläche sind die Ringanker von Pacinotti[1]) (1864) und Gramme (1870), Fig. 128.

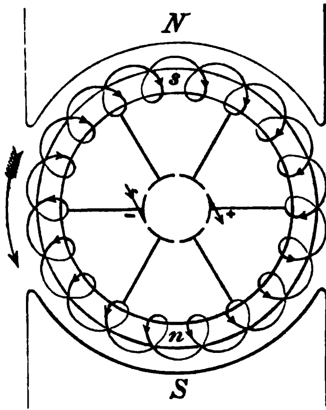


Fig. 128.

Der Ringanker von Pacinotti besteht aus einem gezahnten eisernen Rade, bei welchem der prismatische Raum zwischen je zwei aufeinander folgenden Zähnen mit der Wickelung ausgefüllt ist.

Der Ringanker von Gramme besteht aus einem aus Eisendrähten ververfertigten Eisenkerne mit einer vollkommenen und vollständig bewickelten Ringoberfläche.

Durch die Rotation des Ankers vor den Magnetpolen *NS*, Fig. 128, werden in den Drahtwindungen desselben Ströme inducirt. Das den Magnetpolen gegenüberliegende Ankereisen erhält die entgegengesetzten Pole, d. h. dem Pole *N* gegenüber immer südlichen *s*, dem Pole *S* gegenüber immer nördlichen *n* Magnetismus.

Die Richtungen der magnetischen und elektrischen Ströme bestimmen einander gegenseitig.

Nach den in § 105 angegbenen Regeln findet man die in der Fig. 128 eingezeichneten Stromrichtungen augenblicklich.

109. Magnetisches Feld. Der Verlauf der magnetischen Kraftlinien in elektrischen Maschinen ist in den Figuren 38 bis 43, § 48 wiedergegeben.

Fig. 129 zeigt die Vertheilung der Kraftlinien in den beiden Ankerhälften. Ist der Eisenkern von genügender Dicke, so gehen durch denselben sämmtliche Kraftlinien, bei unzureichendem Querschnitte desselben treten auch in den Innenraum des Ankers Kraftlinien ein und gehen außerhalb des Ankers direkt vom Nord- zum Südpole des Magnetes über.

Fig. 129 stellt den magnetischen Zustand in der dynamoelektrischen Maschine ohne Strom dar.

Aus Fig. 130 ist die Wechselwirkung der Magnetismen des Ringes und der Polschuhe während der Stromerzeugung

---

[1]) Nuovo Cimento, 1865, XIX, Seite 378.

der Maschine ersichtlich. Schräg gegenüber dem Südpole S_1, in der Richtung der Umdrehung verschoben, entsteht in dem Ringeisen ein Nordpol *n*; der letztere nimmt die Kraftlinien im Polschuhe *S* mit sich und drängt sie in dem oberen Theile desselben zusammen. Die

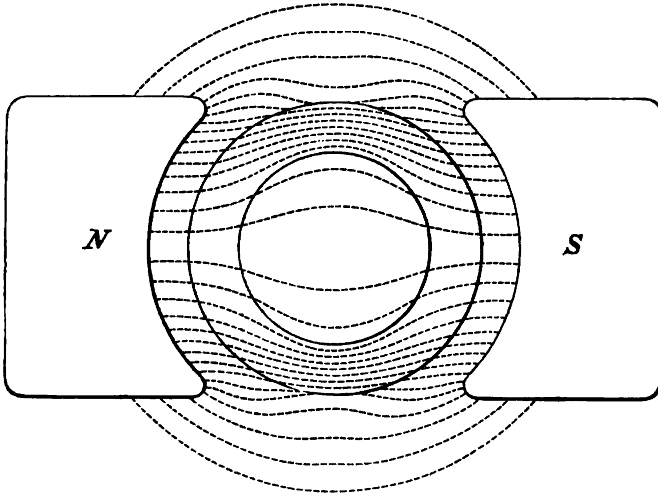


Fig. 129.

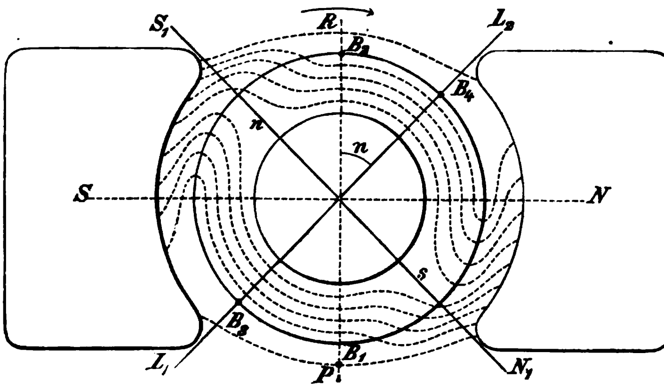


Fig. 130.

Anziehung zwischen *S* und *n* einerseits und *N* und *s* andererseits muss durch den treibenden Motor überwunden werden und ist deshalb zugleich ein Maß für die zum Antriebe der Dynamo erforderliche Kraft. *N S* stellt die Verbindungslinie zwischen den beiden Polen *N* und *S*, *PR* eine darauf senkrechte Linie dar; die Bürsten

werden auf die Punkte B_1 und B_2 eingestellt; zeigen sich bei dieser Einstellung Funken, so sind die Bürsten so lange in der Umdrehungsrichtung zu verschieben, bis diejenige Stellung erreicht ist, bei welcher die geringste (keine) Funkenbildung eintritt; die Bürsten stehen dann auf den sogenannten neutralen Punkten B_3 und B_4. Die Verbindungslinie $L_1 L_2$ der neutralen Punkte heißt neutrale Linie. Den Winkel n, welcher der Verschiebung der Bürsten aus der Stellung $B_1 B_2$ in die Stellung $B_3 B_4$ entspricht, nennt man Verschiebungswinkel; derselbe beträgt in den ungünstigsten Fällen über 30°

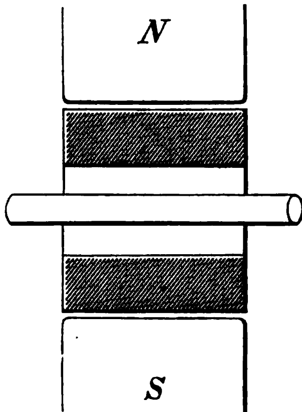


Fig. 131.

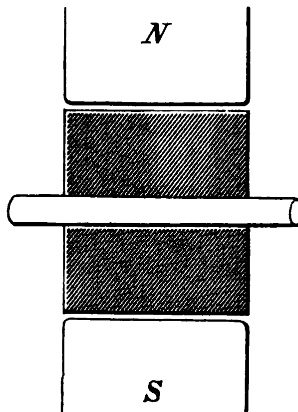


Fig. 132.

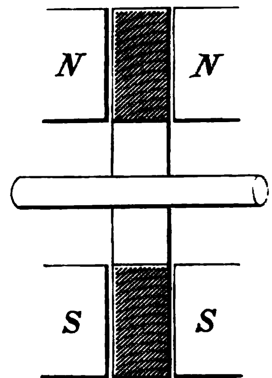


Fig. 133.

und ist bestimmt durch das Verhältnis aus der Summe der Produkte aus Stromstärke und Windungszahl der Magnete und des Ankers. Das Verhältnis:

$$\frac{\text{Summe der Produkte aus Stromstärke} \times \text{Windungszahl in den Magneten}}{\text{Summe der Produkte aus Stromstärke} \times \text{Windungszahl im Anker}}$$

muss für geringe Verschiebungen sehr groß werden. [1])

110. Der Flachringanker (Schuckert) unterscheidet sich vom Grammeringe durch den Eisenquerschnitt.

Den Querschnitt des Grammeringes zeigt Fig. 131, den der Siemenstrommel Fig. 132 und den des Flachringes Fig. 133; in denselben Figuren sind auch die den drei Ankern entsprechenden Polstellungen der Dynamo dargestellt. Die Wickelung des Flachringes ist in derselben Weise durchgeführt, wie jene des Grammeringes.

---

[1]) Hopkinson, Phil. Trans., 1886, Pt. I, S. 347;
W. Peukert, Centralblatt f. Elektrotechnik, IX, 1887, Seite 484.

111. Der Trommelanker (F. von Hefner-Alteneck, 1872). Die Schaltungsschemen dieser Anker sind in den Figuren Fig. 134 bis 137 [1]) und Fig. 138 ersichtlich. Die Wickelung der Trommel in Fig. 134 besteht aus zwei Lagen (je zwei Drähte sind übereinander gewickelt).

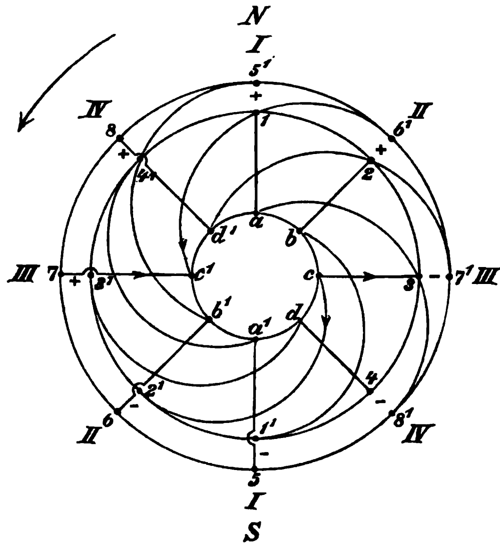


Fig. 134.

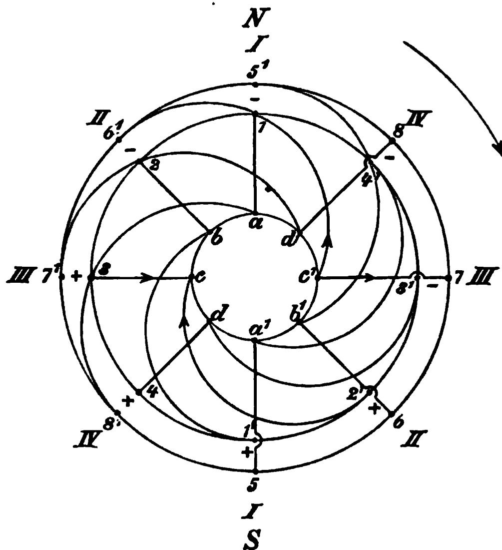


Fig. 135.

Der Verlauf der ersten Lage ist der folgende:

Die Wickelung beginnt beim Kollektortheile *a*, tritt bei 1 an den Umfang der Trommel, geht von hier um die ganze Trommel herum und wird, wenn jede Abtheilung nur aus einer Windung besteht, von 1^1 aus an den Kollektortheil *b* angeschlossen.

Besteht jede Abtheilung aus mehreren Windungen, so hat man sich anstatt einer Windung zwischen den Kollektortheilen *a* und *b* mehrere Windungen angeschlossen zu denken; von *b* aus wird nun die zweite, von *d* aus die dritte u. s. w. Abtheilung in derselben Weise gewickelt, wie die erste.

Für die erste Lage ergibt sich das Wickelungsschema: a, 1, 1^1, b, 2, 2^1, c, 3, 3^1, d, 4, 4^1, a^1.

Die zweite Lage schließt bei a^1 an und befolgt das Schema: a^1, 5, 5^1, b^1, 6, 6^1, c^1, 7, 7^1, d^1, 8, 8^1, a.

[1]) Dr. von Waltenhofen, Zeitschrift für Elektrotechnik, Wien, V, 1887, S. 273 ff.

Bei der in Fig. 134 dargestellten Wickelung erfolgen die Anschlüsse an die Kollektortheile in der Richtung der Uhrzeigerbewegung, bei der Wickelung in Fig. 135 in der entgegengesetzten Richtung.

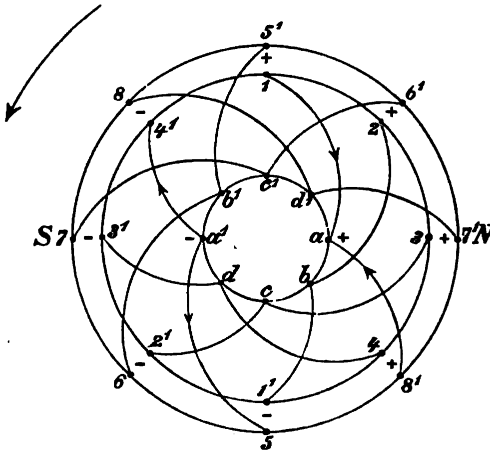


Fig. 136.

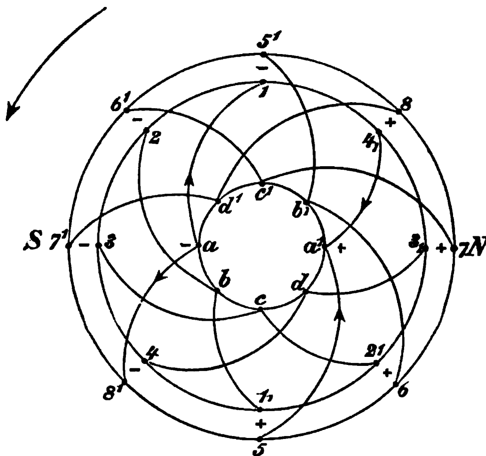


Fig. 137.

Aus der Trommelwickelung von Hefner von Alteneck erhält man die Trommelwickelung von Edison, wenn man den Kollektor der ersteren um 90° verdreht. Beide Wickelungen haben eine gerade Anzahl von Kollektortheilen.

Fig. 136 stellt die Edison-Wickelung dar, wenn die einzelnen Abtheilungen der Trommel in der Richtung der Uhrzeigerbewegung an die Kollektortheile angeschlossen sind; in Fig. 137 erfolgen diese Anschlüsse in der entgegengesetzten Richtung. Während in den Fig. 134 und Fig. 135 die Bürsten in einer auf die Verbindungslinie der beiden Pole senkrechten Geraden liegen, befinden sich dieselben in Fig. 136 und Fig. 137 in der Verbindungslinie der beiden Pole.

Die Veränderung der Bürstenstellung in den beiden letzten Schemen im Vergleiche mit den Trommelwickelungen von Hefner von Alteneck erklärt sich daraus, dass die Anschlüsse der einzelnen Abtheilungen an die Kollektortheile (Kollektorsegmente, Kollektorlamellen), wie bereits erwähnt, bei den beiden verschiedenen Wickelungen um 90° gegeneinander verschoben sind.

Fig. 138 zeigt das Wickelungsschema eines Trommelankers der Firma B. Egger & Co. für eine Trommel mit einer Lage.

Bei dieser Wickelung werden zuerst die ersten halben Felder (1. halben Abtheilungen I I, II II, III III und IV IV) mit Drähten bewickelt, dann die zweiten halben Felder. Die Anschlüsse an die Kollektortheile erfolgen in der Richtung der Bewegung eines Uhrzeigers; dort, wo der letzte Draht der ersten Hälfte des Ankers angeschlossen ist, beginnt der erste Draht der zweiten Hälfte.

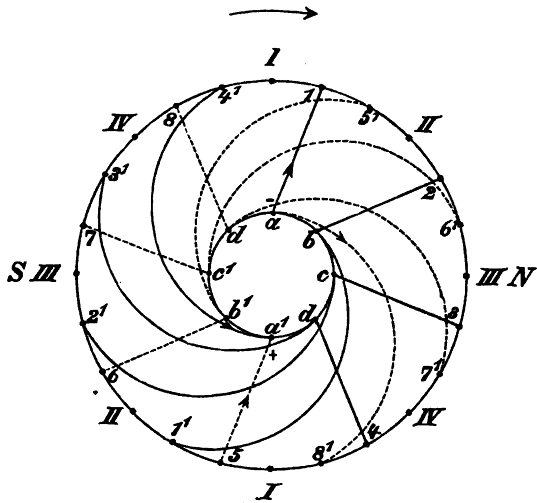


Fig. 138.

Bei den Trommeln dieser Art mit zwei und mehreren Lagen befolgt die Wickelung dasselbe Schema, es erhält jedoch jedes halbe Feld die doppelten, dreifachen oder mehrfachen Drähte übereinander gelagert.

Bei zweckentsprechender Anordnung ist durch diese Wickelung insbesondere eine genaue Uebereinstimmung der Widerstände der beiden parallel geschalteten Ankerhälften zu erreichen.

Die **Bürstenstellung** ist in sämmtlichen Schemen der Trommelanker durch Pfeile und Zeichen (+ und —) ersichtlich gemacht.

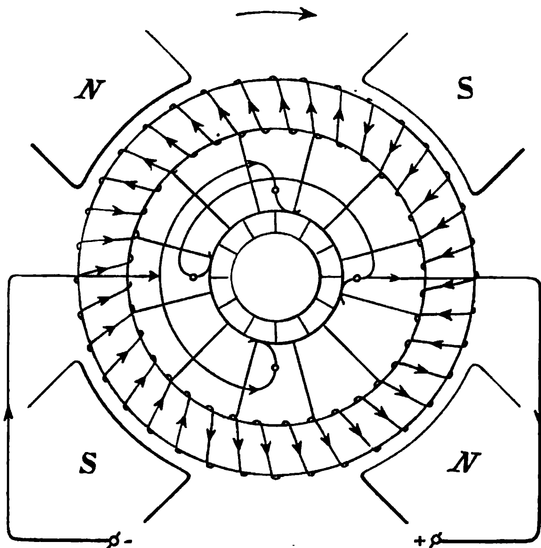


Fig. 139.

112. Die Ringanker der vielpoligen Maschinen. Die Abtheilungen der bisherigen Anker waren hintereinander verbunden und durch die Bürsten in zwei parallel geschaltete Hälften getheilt. Ist das magnetische Feld der Maschine aus mehreren Feldern zusammengesetzt, so

ist für jedes Feld (jedes Paar von Polen) ein Bürstenpaar erforderlich, Fig. 139, wenn nicht besondere Verbindungen an der geschlossenen Wickelung vorgenommen werden sollen.

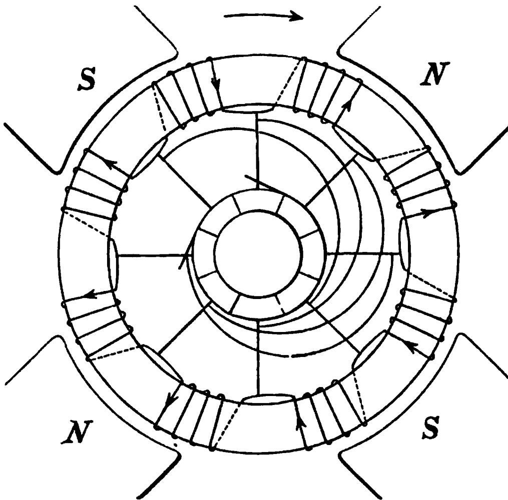


Fig. 140.

Die bekannteste Schaltungsmethode einer vielpoligen Maschine ist die von Morday, Fig. 140. Diese Schaltung findet hauptsächlich bei Maschinen für sehr hohe Stromstärken Verwendung.

Das Princip der Schaltungen an vielpoligen Maschinen besteht darin, dass sämmtliche positiven Pole zu einer und sämmtliche negative Polen zu einer zweiten Bürste geführt werden. In vierpoligen Maschinen müssen deshalb die Drähte von 180° zu 180°, in sechspoligen Maschinen von 120° zu 120°, in achtpoligen von 90° zu 90°, in zehnpoligen von 72° zu 72°, allgemein in n-poligen Maschinen von

$$\frac{360^0}{\frac{n}{2}} \text{ zu } \frac{360^0}{\frac{n}{2}}$$

aneinander angeschlossen werden.

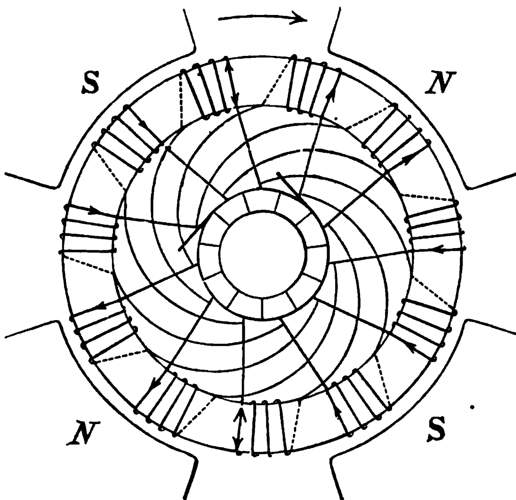


Fig. 141.

Fig. 141 zeigt die Schaltung einer vierpoligen Maschine von Perry (1882), für Anker mit einer ungeraden Anzahl von Ankerabtheilungen (in der Figur 11 Abtheilungen). Während Gramme die aufeinander folgenden Abtheilungen mit einander verbindet, sind bei dieser Methode immer die einander nächst

gegenüberliegenden Abtheilungen verbunden. Für Maschinen mit niederer Spannung ist diese Methode vorzuziehen, da durch dieselbe der Widerstand der Ankerwickelung auf den vierten Theil vermindert wird.

Bei vielpoligen Maschinen mit höheren Spannungen empfiehlt sich die Methode von Andrews, Fig. 142; die zum Felde nahezu symmetrisch liegenden Abtheilungen des Ankers sind hintereinander verbunden. Die in der Figur dargestellten Verbindungen entsprechen zwei Polpaaren und ungeraden Ankerabtheilungen; bei diesen Maschinen beträgt die durch die Verbindungen der Ankerdrähte bedingte ungerade Anzahl der Ankerabtheilungen in der Regel 59.

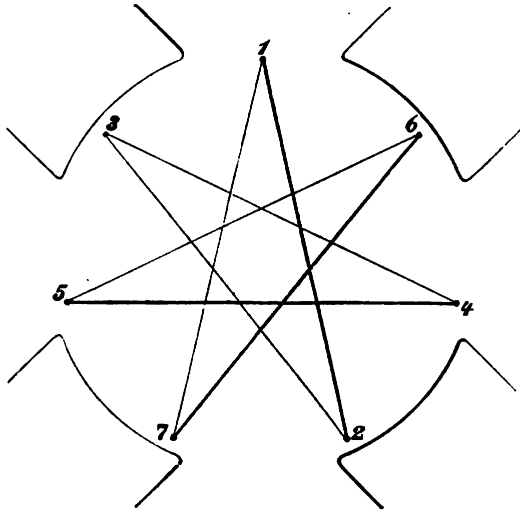


Fig. 142.

113. Der Trommelanker der vielpoligen Maschinen. Die Abnahme des Stromes erfolgt bei den Maschinen dieser Wickelung, sowie bei den vielpoligen Maschinen mit Ringanker,

1. durch Anbringung mehrerer Bürstenpaare und Parallelschaltung derselben,

2. durch Anbringung zweier Bürstenpaare bei entsprechender Verbindung der Ankerdrähte.

114. Der Vergleich der Ring- und Trommelanker ist durch folgende Punkte übersichtlich zusammengestellt:

Vortheile der Trommelanker.

1. Großer Querschnitt des Ankereisens (der beste Eisenkern besitzt keine Höhlung und erscheint unmittelbar auf die Achse aufgebaut); die bewegte Masse ist demnach größer als beim Ringanker.

2. Die Masse des Ankers trägt insbesondere bei größeren Trommeln, wie ein Schwungrad, zur Gleichmäßigkeit des Ganges der Maschine bei.

3. Die Trommelwickelung lässt sich sehr gut für mehrpolige Maschinen mit nur zwei Bürsten verwenden.

4. Der Widerstand des Trommeldrahtes ist kleiner, weil dieser Anker bei gleicher Größe im Vergleiche mit einem Ringanker weniger Draht erfordert.

5. Die Neigung zur Quermagnetisirung erweist sich geringer, als beim Ringanker. Die quermagnetisirenden Kraftlinien sind in Fig. 143 ersichtlich gemacht. Die Wege dieser Kraftlinien führen vom magnetischen Nordpole des Ankereisens durch die Magnetschenkel zum magnetischen Südpole des Ankereisens.

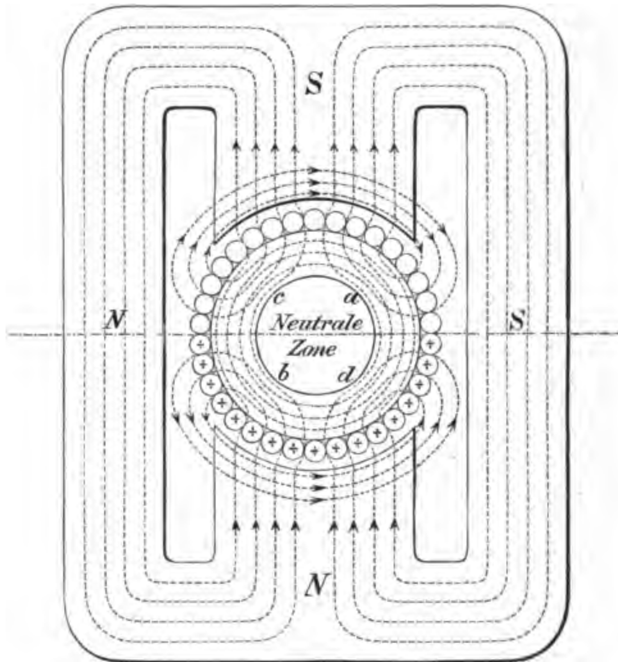


Fig. 143.

Nachtheile der Trommelanker:

1. Die Befestigung der Drähte auf der Trommel ist bei glatten Trommeln umständlicher als beim Grammeringe.

2. Die Reparaturarbeiten bedingen oft das Abwickeln der ganzen Trommel, während beim Ringanker die einzelnen Abtheilungen leicht ausgewechselt werden können.

3. Kommen bei der Trommelwickelung Drähte von höheren Spannungsdifferenzen neben- oder übereinander zu liegen, so ist die Gefahr des Durchschlagens der Isolation eine größere.

4. Der Grammering hat eine bessere Lüftung als der Trommelanker.

115. Der Scheibenanker unterscheidet sich vom Ring- und Trommelanker insbesondere dadurch, dass er keinen Ankerkern enthält.

Wird eine Drahtspule, deren Windungsfläche senkrecht zur Achse eines Magnetes liegt, vor dem Pole desselben bewegt, so dass sie die Fläche der Achse senkrecht schneidet, so entsteht in der Spule ein Strom.

Fig. 144a und 144b geben die Anordnung einer Maschine mit Scheibenanker wieder. Die Kraftlinien gehen in Fig. 144b von N nach S_1 direkt durch die Windungen W_1 und von N_1 nach S direkt durch die Windungen W_2. In Fig. 144a sind nur 2 Pole ersichtlich, die Windungen W_1 und W_2 erscheinen um 90° gedreht. Sowie bei der magnet-

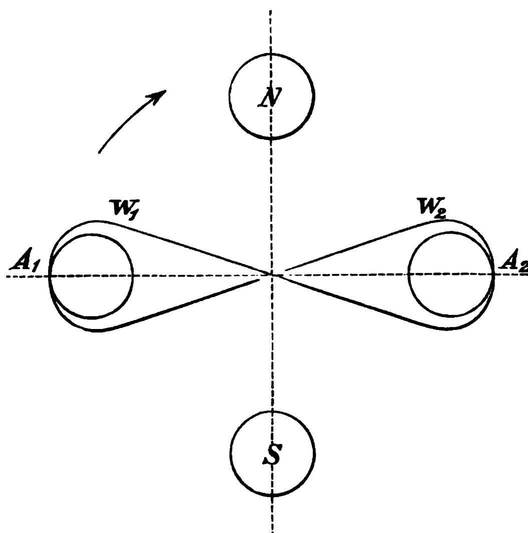


Fig. 144a.

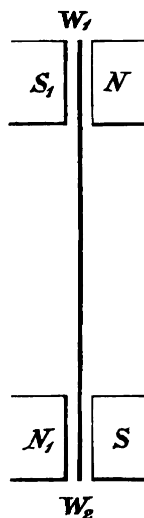


Fig. 144b.

elektrischen Maschine (§ 102, Fig. 119) wechselt auch hier der Strom in dem Momente seine Richtung, in welchem der Mittelpunkt der Fläche durch die Achse A_1 A_2, welche auf der Verbindungslinie der Pole N und S senkrecht steht, bewegt wird.

Diese Maschinen können sowohl für Gleichstrom, als auch für Wechselstrom verwendet werden, je nachdem der Stromsammler aus zwei von einander isolirten Ringen oder aus einem Gleichstromkommutator besteht und sind in der Regel mehrpolige Maschinen mit Reihenschaltung.

Der Scheibenanker von Pacinotti ist in Fig. 145 schematisch dargestellt. Dieser Scheibenanker wurde von Pacinotti im Jahre 1875 erfunden und im Jahre 1881 in einer Maschine mit Elektro-

magneten in Paris ausgestellt. Die Wickelung des Ankers bildet einen in sich selbst geschlossenen Stromkreis.

Der Anker in Fig. 145 besteht aus 10 Theilen, mit 20 in der Richtung des Halbmessers (radial) angeordneten Leitern. Stellt die punktirte Linie in der letzten Figur den Durchmesser des Stromwechsels dar, so fließen die Ströme in der einen Ankerhälfte radial nach innen, in der anderen radial nach außen.

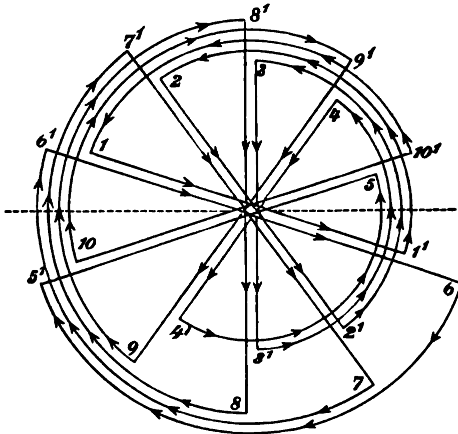
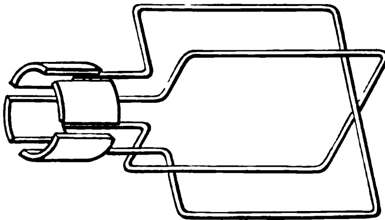
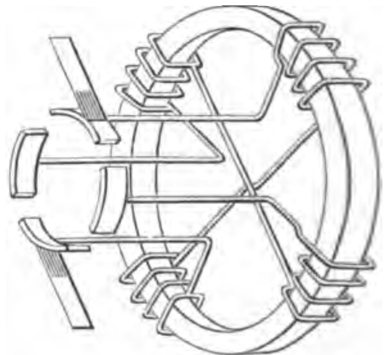


Fig. 145.

Die neuesten Scheibenanker stammen von Desrozier[1], Robin[2], Jehl und Rupp[3] und Sayers[4].


Fig. 146.


Fig. 147.

116. Anker mit offener Wickelung.

Da bei den bisher genannten Ankern sämmtliche Windungen zu einem geschlossenen Stromkreise vereinigt waren, nennt man dieselben Anker mit geschlossener Wickelung im Gegensatze zu den Ankern mit offener Wickelung, Fig. 146 und Fig. 147, welche aus zwei getrennten Zweigen bestehen, deren Ebenen auf einander senkrecht stehen; während in einer Windung der stärkste Strom inducirt wird, ist in der von derselben getrennten senkrechten Windung

[1]) Lum. Electr. XXIV, 1887, S. 293, 294 und 517.
[2]) „ „ „ 1887, S. 544.
[3]) „ „ „ 1887, S. 543.
[4]) Specif. of Patent. 717 von 1887.

der inducirte Strom gleich Null. Die auf dem Umfange des Ankers entgegengesetzt zu einander angeordneten Abtheilungen sind rückwärts mit einander verbunden.

Die Anker mit offener Wickelung können Ring-, Trommel- und Scheiben-Anker sein.

Der Anker der Brushmaschine ist ein Ringanker mit offener Wickelung. Wilhelm Peukert[1]) hat im Jahre 1884 das

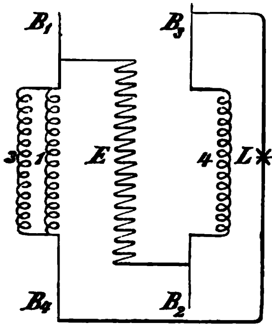


Fig. 148 a.

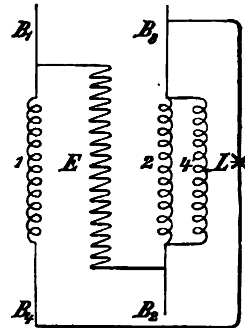


Fig. 148 b.

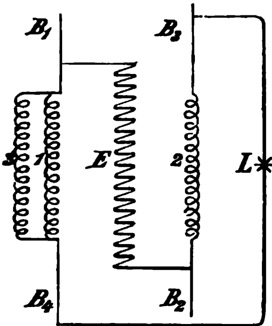


Fig. 148 c.

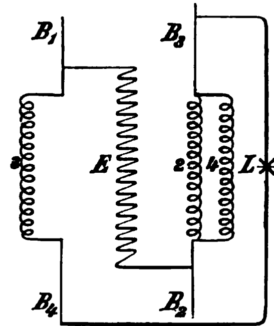


Fig. 148 d.

Schaltungsschema dieser Maschine, über welches bis dorthin ganz unrichtige und unverständliche Anschauungen herrschten, vollkommen klar gestellt und wurde so der Begründer der Theorie der Maschinen mit offener Wickelung; der von ihm erdachte Vorgang der Induktion in der genannten Maschine ist aus den Schemen Fig. 148 a bis Fig. 148 d ersichtlich. Das nicht inducirte, in der neutralen Stellung befindliche

[1]) Professor Wilhelm Peukert, Zeitschrift für Elektrotechnik, 1884.

Spulenpaar und somit auch dessen Widerstand ist während der Thätigkeit der Maschine ausgeschaltet; ein Spulenpaar befindet sich im Maximum der Induktion; die beiden benachbarten Spulen sind zu einander parallel und hinter das meist inducirte geschaltet.

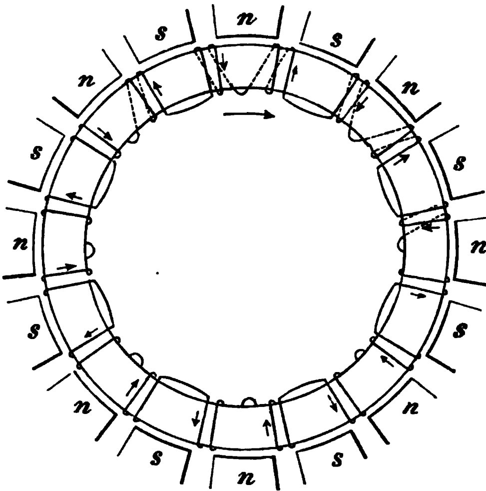


Fig. 149.

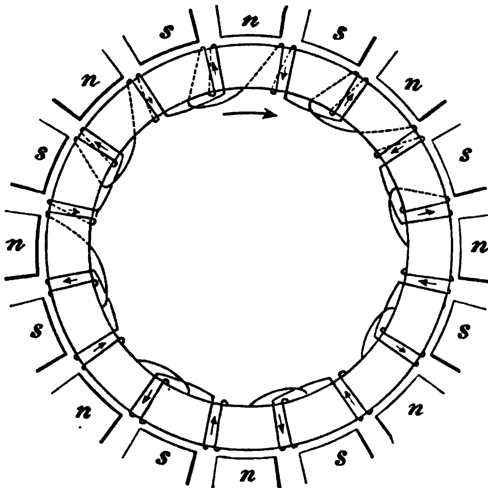


Fig. 150.

In den letzten Figuren bedeuten die Buchstaben B_1, B_2, B_3 und B_4 die Schleifbürsten, die Buchstaben *E* und *L* die Elektromagnetwickelungen und die Lichtleitung, die Ziffern 1, 2, 3 und 4 die einzelnen Spulenpaare; die Figuren entsprechen 4 aufeinander folgenden Achtelumdrehungen und wiederholen sich regelmäßig.

Bei der ersten Achtelumdrehung, Fig. 148a, ist das 2., bei der zweiten, Fig. 148b, das 3., bei der dritten, Fig. 148c, das 4., bei der vierten, Fig. 148d, das 1., bei der fünften das 2., bei der sechsten das 3. Spulenpaar u. s. w. ausgeschaltet.

Der Anker von Elihu Thomson und Edwin J. Houston[1]) hat eine offene Wickelung und ist der einzige Anker von kugelförmiger Gestalt,[2]) welcher zwischen zwei becherförmig ausgehöhlten Magnetschenkeln

---

[1]) Guerot, La lumière electr. XV, 1885, S. 398.

[2]) Die ältere Konstruktion dieses Ankers war mit einer Trommelwickelung ausgerüstet und hatte eine vollkommen kugelförmige Gestalt; die neue Konstruktion besitzt eine Ringwickelung und stellt eine unvollkommene, an der Kollektor- und Riemenscheibenseite abgeflachte, Kugel dar.

rotirt und einen dreitheiligen Kommutator besitzt; die zwischen den Theilen dieses Kommutators entstehenden Funken vermindert ein auf derselben Welle sitzender Gebläseapparat.

Die Anker mit offener Wickelung werden zur Stromabgabe an Bogenlampen, insbesondere in England und Amerika häufig und mit bestem Erfolge, verwendet; die geringe Anzahl der Ankerabtheilungen verursacht größere Stromschwankungen, als die größere Anzahl der Ankerabtheilungen der früheren Anker.

117. Die Anker der Wechselstrommaschinen waren schon bei den ersten magnetelektrischen Maschinen (Pixii, § 102) in Gebrauch, die Stromsammler derselben sind in den Figuren, Fig. 119a und Fig. 119b, durch 2 Ringe R_1 und R_2 dargestellt. Die Spulen der Wechselstromanker werden entweder nebeneinander (parallel) für hohe Stromstärken oder hintereinander für hohe Spannungen oder gemischt (neben- und hintereinander) geschaltet.

Die Anker der Wechselstrommaschinen zerfallen, sowie jene der Gleichstrommaschinen, in Ring-, Trommel-, Flachring-, Scheiben- und Polanker und unterscheiden sich von den entsprechenden Ankern der Gleichstrommaschinen hauptsächlich durch die Verbindung der einzelnen Abtheilungen oder durch die Art der Wickelung derselben.

1. Die Ringanker der Wechselstrommaschinen wurden im Jahre 1878 fast gleichzeitig von Wilde und Gramme erdacht.

Fig. 149 zeigt die Verbindung der einzelnen Abtheilungen, wenn dieselben abwechselnd nach rechts und links, Fig. 150, wenn sämmtliche Abtheilungen nach rechts gewickelt sind. Anker dieser Art konstruirten weiter: A de Méritens (1879), Elwell Parker (1887) und Heisler (1889).

2. Die Flachringanker der Wechselstrommaschinen. Der Anker der Wechselstrommaschine von Maquaire[1]) besteht aus 2 Flachringen; Kennedy und Kapp bauen ebenfalls Flachringanker für Wechselstrommaschinen.

3. Die Trommelanker der Wechselstrommaschinen. Der Anker der Wechselstrommaschine der Firma Siemens & Halske (Patent vom 3. April 1878), sowie der Anker der Wechselstrommaschine von William Stanley jr. (Westinghouse & Co. in Pittsburg) sind Trommelanker.

4. Die Scheibenanker der Wechselstrommaschinen bestehen aus Ankerspulen, die am Umfange einer Scheibe befestigt

---

[1]) A. Beringer, Elektrotechn. Zeitschrift, IV, 1883, S. 72.

sind. Diese Ankerform, welche schon den ersten magnetelektrischen Maschinen eigen war (Fig. 119a und Fig. 119b) ist in Fig. 151 mit den Sammelringen R_1 und R_2 wiedergegeben.

Von den wichtigsten Maschinen mit Scheibenanker seien genannt:

Die Maschinen von Wilde (1867), Siemens & Halske, Lachausée, Gordon, Ferranti und Mordey.

5. Die Polanker der Wechselstrommaschinen. Der Vorgang der Induktion in diesen Ankern ist derselbe wie bei Scheibenankern (Fig. 144). Die erste Wechselstrommaschine mit Polanker, Fig. 152, wurde im Jahre 1878 von Lontin in Paris aus-

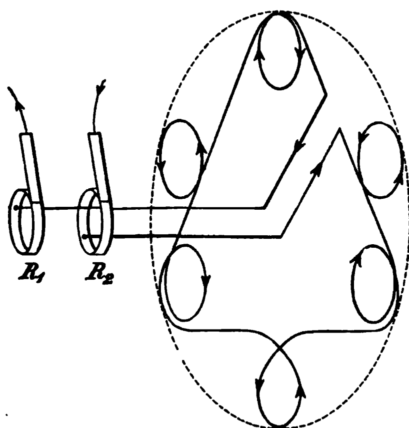


Fig. 151.

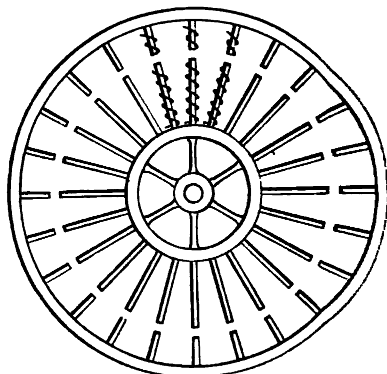


Fig. 152.

gestellt. Fig. 153 zeigt das Princip und die Verbindungen dieses Ankers. Neuere Maschinen dieser Art sind die Maschinen von Ganz & Co. (Budapest), Siemens & Halske und J. u. E. Hopkinson.

118. Die Haupteigenschaften der Ankerwickelungen.

1. Der Widerstand der Ankerwickelung muss sehr klein sein, d. h. die Wickelung soll, soweit dies mit der Tourenzahl der Maschine vereinbar ist, aus wenigen Windungen eines dicken Drahtes bestehen.

2. Ist der einzelne Draht zu stark und deshalb schwer wickelbar, so kann derselbe durch mehrere parallel geschaltete dünnere Drähte ersetzt werden.

3. Die elektrische Leitungsfähigkeit des Drahtes (Seite 45, Tafel) muss möglichst groß sein.

4. Der Abstand zwischen dem Eisenkerne und dem Polschuhe muss überall gleich sein.

5. Die Ankerwickelung ist, falls Stromschwankungen vermieden werden sollen, in eine große Anzahl von Abtheilungen zu theilen.

6. Unregelmäßige Verbindungen zwischen den Ankerabtheilungen und dem Stromsammler bedingen insbesondere Aenderungen in der elektromotorischen Kraft und Funkenbildung.

7. Bei den Ankern mit offener Wickelung ist besonders darauf zu achten, dass die nicht inducirten, aus dem Stromkreise ausgeschlossenen, Spulen vor Kurzschlüssen geschützt werden.

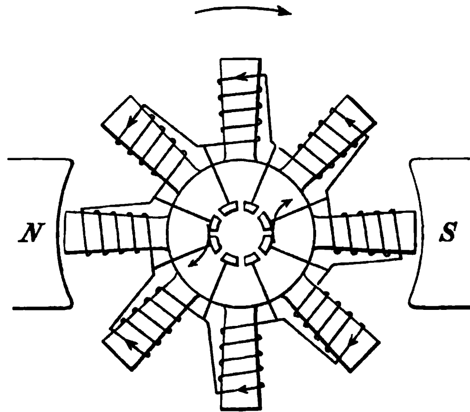


Fig. 153.

8. Die Kerne der Polanker müssen an den Polenden bewickelt sein, weil dort die Aenderungen des inducirten Magnetismus am wirksamsten sind.

9. Die sorgfältigste Isolation der Ankerwickelung ist die Grundbedingung für einen andauernden Betrieb.

10. Die Erwärmung des Ankers darf + 80° C. nie übersteigen, weil sonst jede Isolation Schaden leidet.

11. Eine gute Durchlüftung des Ankers trägt zur Abkühlung desselben bei.

12. Der Widerstand der parallel geschalteten Abtheilungen muss gleich groß sein, wenn nicht ungleiche Induktionen in den beiden Ankerhälften eintreten sollen.

13. Die Wahl der zulässigen Beanspruchung des Ankerdrahtes für 1 mm^2 ist maßgebend für die Erwärmung desselben.

14. Die besten Materialien für Ankerdrähte sind Kupfer und Eisen.

119. Für die Berechnung der Ankerwickelung ist die Wahl der Beanspruchung des Drahtes für 1 mm^2 entscheidend; letztere hängt

1. von der Entfernung der einzelnen Drähte,
2. von der Anzahl der Lagen,
3. von der Art der Isolation der Ankerdrähte,
4. von der Ankerkonstruktion,

5. von der Durchlüftung des Ankers, sowie
6. von der Art der Wickelung ab

und beträgt 3—7 Ampère für 1 mm^2.

Beispiel: Die Stromstärke einer Serienmaschine sei 8 Ampère: wie groß ist der Querschnitt des Ankerdrahtes bei einer Beanspruchung von 4 Ampère für 1 mm^2?

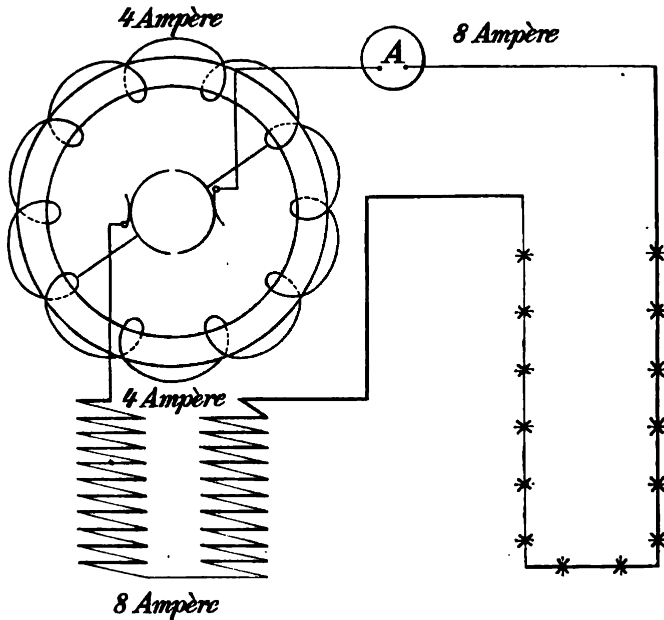


Fig. 154.

Da bei der Serienmaschine Anker, Magnete und äußerer Stromkreis hintereinander geschaltet sind, Fig. 154, so ist die Stromstärke überall dieselbe, in den Magneten, dem äußeren Stromkreise und in den beiden Ankerhälften 8 Ampère, also in jeder Ankerhälfte 4 Ampère, da letztere parallel geschaltet sind; der Stromstärke von 4 Ampère entspricht nach Annahme ein Querschnitt von 1 mm^2.

Beispiel: Wie groß ist der Durchmesser des Ankerdrahtes einer zweipoligen Nebenschlussmaschine, Fig. 155, für 22 Ampère bei einer Beanspruchung von 4 Ampère für 1 mm^2 und 2 Ampère Magnetstrom?

Im Anker muss der Gesammtstrom ($22 + 2 = 24$ Ampère) erzeugt werden; da die beiden Hälften desselben parallel geschaltet sind,

so werden durch jede Hälfte 12 Ampère fließen. Für je 4 Ampère ist nach Annahme 1 mm^2 Ankerdraht erforderlich, also beträgt der Querschnitt für $3 \times 4 = 12$ Ampère, $3 \times 1 = 3$ mm^2 und man kann deshalb aus einer Querschnittstafel oder aus der Querschnittsformel:

$$q = \frac{\pi d^2}{4},$$

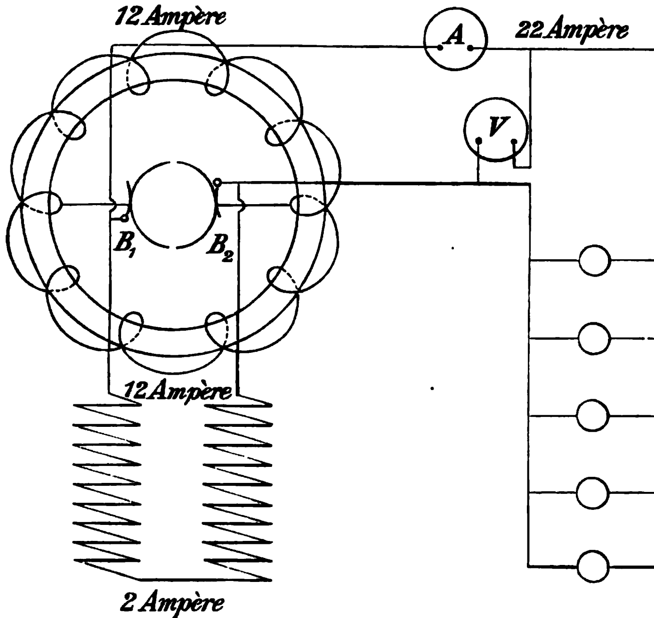


Fig. 155.

worin q = Querschnitt, d = Durchmesser, $\pi = 3 \cdot 1416$, den Durchmesser des Ankerdrahtes bestimmen. Aus der letzteren Formel erhält man

$$d = \sqrt{\frac{4q}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \times 3}{3 \cdot 14}} = \sqrt{4} = 2 \; mm.$$

Beispiel:

Es ist der Querschnitt des Ankerdrahtes einer 4-poligen Nebenschlussmaschine, Fig. 156, zu bestimmen, wenn

1. der Außenstrom = 3·90 Ampère,
2. der Magnetstrom = 10 „ und
3. die Beanspruchung = 4 „ für 1 mm^2 betragen.

Der Gesammtstrom, welcher im Anker erzeugt werden muss, beträgt in diesem Falle 390 + 10 = 400 Ampère. Da die Ankerwickelung

der vierpoligen Maschine aus 4 gleichen parallel geschalteten Theilen besteht, so durchfliessen jedes Ankerviertel $\frac{400}{4} = 100$ Ampère. Nach Annahme 3) beträgt der Querschnitt des Ankerdrahtes bei einer Beanspruchung von je 4 Ampère 1 mm^2, also für $100 = 25 \times 4$ Ampère, $25 \times 1 = 25$ mm^2.

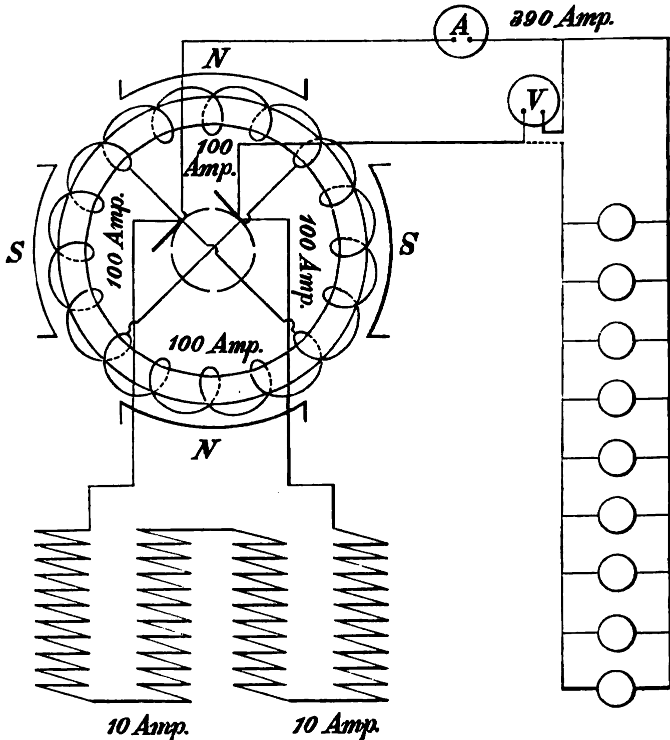


Fig. 156.

25 mm^2 entsprechen einem Durchmesser von 5·7 mm. Bei grösseren Durchmessern lässt sich Kupferdraht sehr schwer wickeln, weshalb dann auch wegen der besseren Raumausnützung Kupferstäbe, Kupferstreifen und Litzen verwendet werden; da die letzteren Wickelungen ebenfalls schwer ausführbar sind, zeigt es sich, dass für hohe Stromstärken sechs- und mehrpolige Maschinen zweckentsprechend erscheinen.

Beispiel:

Welchen Querschnitt erhält der Ankerdraht, mit Beibehaltung der Angaben des letzten Beispieles, für sechs-, acht- und mehrpolige Maschinen?

6-polige Maschine: $\frac{400}{6} \doteq 67$ Ampère;

$\frac{67}{4} \doteq 17\ mm^2$; 4·7 *mm* Durchmesser.

8-polige Maschine: $\frac{400}{8} = 50$ Ampère;

$\frac{50}{4} \doteq 12\ mm^2$; 4 *mm* Durchmesser.

12-polige Maschine: $\frac{400}{12} \doteq 33$ Ampère;

$\frac{33}{4} \doteq 8\ mm^2$; 3·2 *mm* Durchmesser.

n-polige Maschine: $\frac{400}{n}$ Ampère; $\frac{400}{4n}$ *mm* Durchmesser.

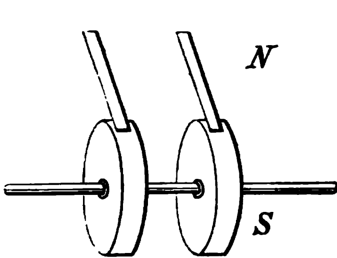


Fig. 157.

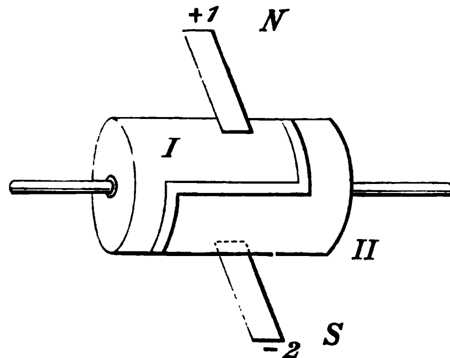


Fig. 158.

120. Die Stromabgeber führen den im Anker erzeugten Strom den Bürsten zu, welche denselben an den äußeren Stromkreis abgeben.

Die Stromabgeber sind:

1. Stromabgeber, Fig. 157, bestehend aus zwei von der Welle isolirten Schleifringen. Die Stromabnahme besorgen zwei Schleiffedern. Diese Stromabgeber wurden schon bei den ersten Wechselstrommaschinen verwendet.

2. Stromabgeber, Fig. 158, welche den als Wechselstrom auftretenden inducirten Strom gleichrichten; man nennt dieselben Kommutatoren (Stromwender). Die Maschine von Pixii (1832) war mit diesem Stromwender versehen.

In Fig. 157 schleift jede Bürste auf einem Ringe und erhält während einer Umdrehung einmal positiven das andere mal negativen Strom (Wechselstrom). Die einzelnen Ankerspulen können hintereinander, nebeneinander oder gemischt geschaltet sein. Bei der Hintereinanderschaltung sind der Anfang der ersten Spule und das Ende der letzten Spule mit je einem Schleifringe zu verbinden. Bei der Nebeneinanderschaltung werden die positiven Pole sämmtlicher Ankerspulen an den einen, die negativen Pole an den anderen Schleifring angeschlossen. Bei der gemischten Schaltung sind entweder mehrere Ankerspulen nebeneinander-, die so entstehenden Gruppen hintereinander-geschaltet und so wie hintereinander geschaltete Ankerspulen an die Schleifringe gelegt oder mehrere Ankerspulen hintereinander-, die so entstehenden Reihen von Spulen parallel-geschaltet und wie nebeneinander geschaltete Ankerspulen an die Schleifringe angeschlossen.

In Fig. 158 sind die beiden Ringe durch zwei von einander isolirte Kommutatorhälften ersetzt. Die Bürsten müssen gleichzeitig verschiedene Theile (Hälften) des Kommutators berühren. Bei dieser Anordnung schleift die Bürste 1 bei der ersten halben Umdrehung auf dem Theile I (positiver Strom), bei der zweiten halben Umdrehung auf dem Theile II (positiver Strom).

Die Bürste 1 erhält demnach während einer Umdrehung immer positiven Strom. Gleichzeitig mit der Bürste 1 schleift die Bürste 2 während der ersten halben Umdrehung auf dem Theile II (negativer Strom), bei der zweiten halben Umdrehung auf dem Theile I (negativer Strom). Die Bürste 2 erhält somit während einer Umdrehung immer negativen Strom. Während jeder weiteren Umdrehung erfolgt die Stromabnahme in derselben Weise, d. h.: Die Bürste 1 erhält stets positiven, die Bürste 2 stets negativen Strom (Gleichstrom).

3. In Stromabgeber, Fig. 159, welche die hintereinander geschalteten Ankerwindungen durch die Bürsten in zwei parallele Hälften schalten; sie heißen Kollektoren (Stromsammler).

Der Stromsammler in Fig. 159 ist mittelst der Kollektorbüchse auf die Welle der Maschine aufgebaut und besteht aus so vielen von einander und von der metallischen Kollektorbüchse wohl isolirten Theilen, als der Anker Spulen oder Abtheilungen besitzt.

Die Lamellen (Stäbe, Streifen, Kontaktstücke oder Segmente) bestehen zumeist aus Kupfer, Rothguss, Phosphorbronce, Stückgut, die Isolation zwischen denselben aus Asbest, Glimmer, Pressspan, Hartfiber (vulkanisirtes Fiber), Gyps; das Isolationsmaterial soll schwer brennbar sein, damit selbst durch unrichtige Wartung der Maschine entstehende Funkenbildung die Isolation nicht beschädigen kann.

In den ersten Weston-Maschinen waren die Lamellen durch Luft isolirt.

Siemens & Halske wenden bei den Maschinen der Type L. H. auch eiserne Lamellen, welche leicht auswechselbar sind und Luftisolation besitzen, an. Durch die letztere Isolation wird die Ansammlung von Metallstaub zwischen den einzelnen Lamellen und dadurch deren Kurzschluss verhindert.

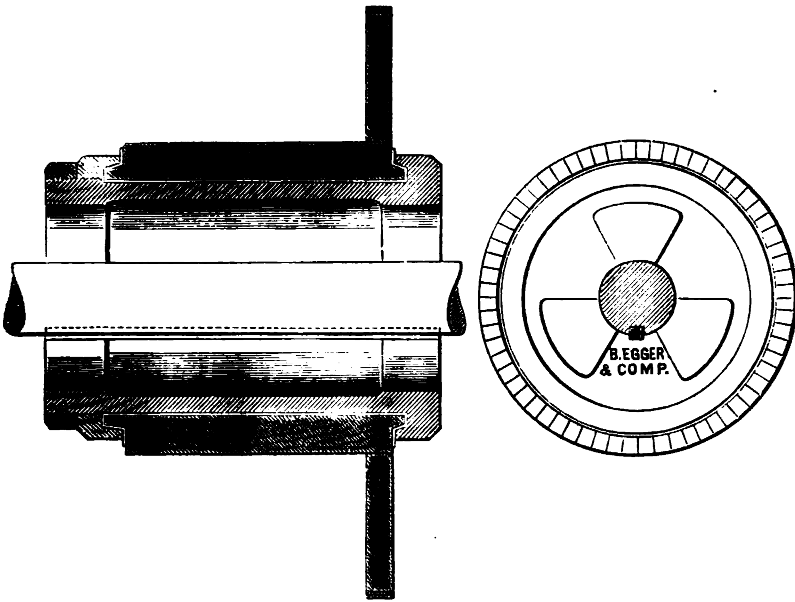


Fig. 159.

Zur Vermeidung des Kurzschlusses der Lamellen durch Metallstaub und der Erwärmung des Kollektors werden auch Gebläsevorrichtungen gebraucht. Der Metallstaub kann weiters die Ankerwindungen kurzschließen; Siemens & Halske umgeben denselben aus diesem Grunde an den Stirnflächen mit einer Leinwandkappe.

B. Egger & Co. schützen den Anker durch ein Schutzblech, welches an dem Magnetkörper der Maschine befestigt ist, vor mechanischen Beschädigungen.

121. Die Haupteigenschaften eines Stromsammlers sind:

1. Das Material muss ein entsprechendes sein (§ 120).

2. Nur eine schwer brennbare Isolation verhindert bei Funkenbildung den Kurzschluss der Kollektorlamellen.

3. Die Verbindungsstellen müssen vollkommenen Kontakt herstellen.

4. Der Kollektor muss stets vollkommen rund sein, damit eine innige Berührung zwischen den Bürsten und der Oberfläche desselben stattfinde und keine Lamelle von der Bürste übersprungen werde, weil sonst Stromunterbrechung eintritt. Es ist deshalb erforderlich, dass der Kollektor nach jedesmaligem Einstellen des Betriebes durch Schmirgel- oder Glaspapier blank gemacht wird; stellen sich größere Ungleichmäßigkeiten an dem Kollektor ein, so ist derselbe abzufeilen oder abzudrehen.

5. Der Kollektor muss auf das genaueste ausbalancirt sein, weil anderenfalls eine starke Abnützung desselben und starke Funkenbildung stattfinden.

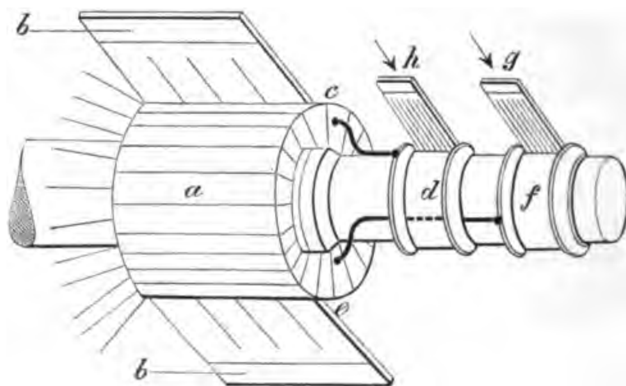


Fig. 160.

6. Werden bei vollkommener Herstellung des Kollektors und richtiger Behandlung desselben eine oder mehrere Lamellen besonders stark abgenützt, so zeigt sich Funkenbildung und der Fehler liegt in den an diese Lamellen angeschlossenen Windungen.

7. Der Kollektor darf nur in ganz geringem Maße geoelt oder geschmiert werden, weil sonst leicht durch anhaftenden Metallstaub Kurzschluss unter den Lamellen desselben entstehen kann.

8. Auf das Verschrauben oder Verlöthen der Lamellen mit den Enddrähten der Ankerabtheilungen ist besondere Sorgfalt zu verwenden.

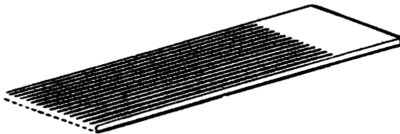
122. Der Kollektor von Helios. Helios (Aktiengesellschaft für elektrisches Licht und Telegraphenbau in Ehrenfeld und Köln [1]) haben eine Schaltung von Elektricitätserzeugern, Fig. 160, erfunden, welche insbesondere zu den folgenden Zwecken dient:

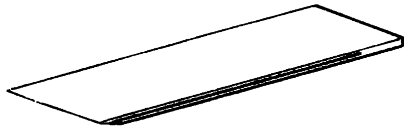
[1]) Zeitschrift für Elektrotechnik, 1888, S. 84.

1. Die Benützung der Gleichstrommaschinen zur Abgabe von Wechselstrom. In Fig. 160 stellt *a* den Stromsammler einer zweipoligen Gleichstrommaschine (Nebenschlussmaschine) dar. Zwei gegenüberliegende Lamellen *c* und *e* sind mit den isolirten Ringen *d* und *f* verbunden.

Wird die Maschine angetrieben, so kann an den Bürsten *b b* Gleichstrom, an den Bürsten *g* und *h* Wechselstrom abgenommen werden. Diese Schaltung ist auch für mehrpolige Maschinen anwendbar.

2. Wird durch die Bürsten *g* und *h* Wechselstrom in die Maschine eingeführt, so lauft dieselbe an und kann zur Kraftübertragung benützt werden. Die Tourenzahl steigt rasch zur normalen an. Eine vierpolige Maschine z B. macht 1000 Umdrehungen in der Minute, wenn ihr Wechselstrom von 4000 Impulsen (Stromwechseln) in der Minute zugeführt wird u. s. w.


Fig. 161.


Fig. 162.

3. Bei der letzteren Stromführung (Wechselstrom) durch die Bürsten *g* und *h* kann die Nebenschlussmaschine nicht nur zur Kraftübertragung dienen, sondern auch Gleichstrom an den Bürsten *bb* abgeben.

123. Die Bürsten (Federn, Schleifer, Pinsel). Bürstenkonstruktionen:

1. Zwei oder mehrere Lagen von nebeneinanderliegenden, an einem Ende zusammengelötheten oder gedrillten Drähten, Fig. 161.

2. Mehrere übereinandergelegte, an dem einen Ende verlöthete, an dem anderen Ende abgeschrägte und schräg auf den Kollektor aufgelegte Metallbleche (Kupfer-, Messingbleche u. s. w.), Fig. 162.

3. Mehrere übereinandergelegte geschlitzte Bleche, Fig. 163 a und Fig. 163 b.

4. Nebeneinander gelegte Kupferstreifen, Fig. 163 c.

5. Drahtlagen, Fig. 162 a, und geschlitzten Kupferstreifen, Fig. 163 a.

6. Geflochtene Kupferdrähte. Solche Bürsten erzeugen: Siemens & Halske, O. Schulze, Vertreter der deutschen Edisongesellschaft für Strassburg, Koch in Hohemlimburg in Westphalen u. A.

Diese Bürsten schleifen vollkommen geräuschlos und nützen den Kollektor ganz unbedeutend ab.

7. Feinkörnige gutleitende Kohle (Forbes). Kohlenbürsten poliren den Kollektor ohne denselben abzunützen.

8. Metallscheiben (umlaufende Bürsten von Gramme, Sir W. Thompson, Mr. C. F. Varley und Anderen vorgeschlagen).

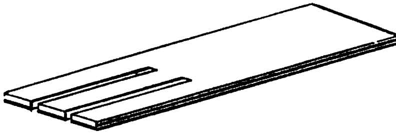


Fig. 163 a.

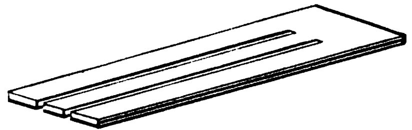


Fig. 163 b.

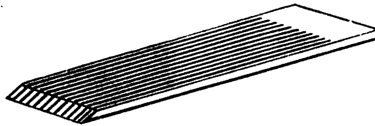


Fig. 163 c.

Bezüglich der Bürsten ist weiteres zu bemerken:

Die Bürsten müssen auf die geringste Funkenbildung eingestellt werden, deshalb verschiebbar angebracht sein und bei zweipoligen Maschinen einander diametral gegenüber liegen, bei mehrpoligen Maschinen einen bestimmten Winkel mit einander einschließen. Es empfiehlt sich, die Kollektorlamellen oder die Kollektorbüchse mit Zahlen zu versehen, so dass die gegenüber- (zweipolige Maschine) oder nebeneinander- (mehrpolige Maschine) liegenden Bürsten immer auf denselben Zahlen stehen, weil man sonst den Abstand zwischen den Bürsten messen und gleichmachen oder die Bürsten so einstellen muss, dass die Anzahl der zwischen denselben angeordneten Lamellen auf beiden Seiten dieselbe ist oder dass die Bürsten gleich weit aus den Haltern hervorragen. Die Berührung zwischen den Bürsten und den Kollektorlamellen muss vollkommen und metallisch sein; die Größe der Berührungsflächen ist durch die Stromverhältnisse gegeben. Vor Ingangsetzung der Maschine müssen die Bürsten abgeschmirgelt, richtig eingestellt und aufgelegt werden. Neu abgeschrägte Bürsten, welche der Krümmung des Kollektors nicht genügend angepasst sind, müssen solange bei Leerlauf der Maschine schleifen, bis sie sich vollkommen an den Kollektor angelegt haben. Sind bei einer Maschine mit nur 2 Bürsten Verstellungen derselben während des Ganges

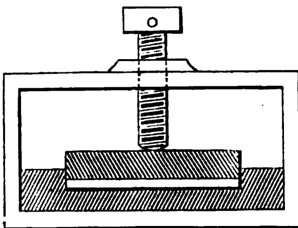


Fig. 164.

unvermeidlich, so müssen dieselben äußerst vorsichtig vorgenommen werden, damit keine Stromunterbrechungen stattfinden können. Tangential anliegende Bürsten sollen beim ersten Gebrauch nicht mehr als

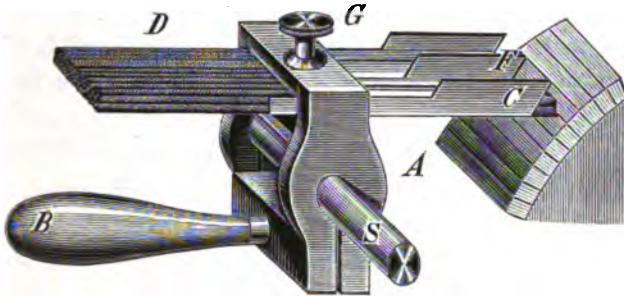


Fig. 165.

5 *mm* über die Berührungsfläche zwischen Bürste und Kollektor hervorragen. Ist die Bürste auf der einen Seite schadhaft geworden, so kann dieselbe gewendet werden.

Die eiserne Bürstenkluppe in Fig. 164 dient dazu, die auf beiden Seiten unbrauchbar gewordenen Bürsten abzuschneiden; ähnliche Kluppen werden bei schräg liegenden Bürsten verwendet.

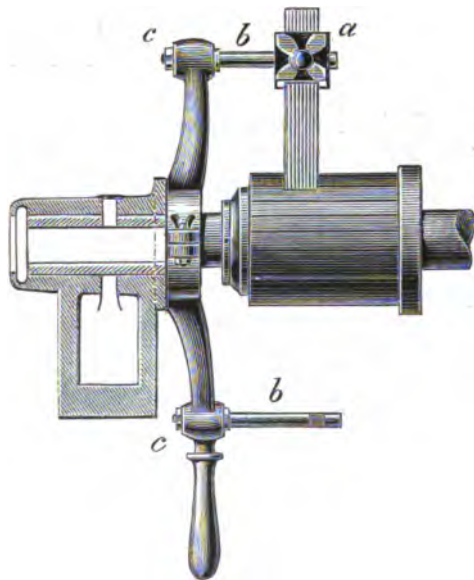


Fig. 166.

124. Die Einstellung der Bürsten besorgen:

1. Die Bürstenhalter. Fig. 165 stellt den Bürstenhalter von O. Schulze dar. Die geflochtene Bürste *D* befindet sich zwischen Blechen und wird durch die Schraube *G* festgeklemmt.

2. Die Bolzen (Bürstenstifte) sind Metallzapfen, welche die Bürstenhalter tragen. Durch die Schraube *B*, Fig. 165, werden der Schlitz des Bürstenhalters verengt, der letztere an den Bürstenstift *S* gedrückt, sowie die Lage und der Druck der Bürsten gegen den Kollektor beliebig geändert.

3. Der Bürstenhebel *cc* in Fig. 166 trägt die Bolzen *bb* sammt den Bürstenhaltern und den Bürsten; derselbe gestattet die Verstellung der Bürsten entweder in gewissen Grenzen oder um den ganzen Umfang des Stromsammlers.

Die Berührung zwischen Bürsten, Bürstenstift und dem äußeren Stromkreise muss vollkommen metallisch und anliegend, die Isolation des Bürstenstiftes sammt des Halters und der Bürsten von dem Bürstenhebel vollständig sein.

Fig. 167 stellt eine Bürstenvorrichtung von Siemens & Halske, Fig. 168 eine Bürstenvorrichtung von Edison dar.

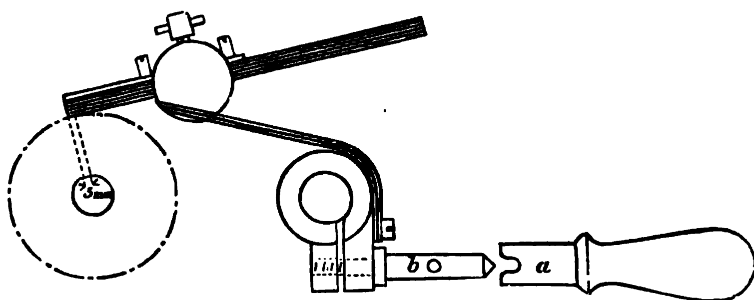


Fig. 167.

125. Feldmagnete. Die Feldmagnete der dynamo-elektrischen Maschinen sind Elektromagnete der verschiedensten Formen.

Das beste Material für die Eisenkerne der Feldmagnete ist Schmiedeeisen, das billigste Gusseisen; die magnetischen Leitungsfähigkeiten der genannten Eisensorten verhalten sich annähernd wie 3 : 2, die Eisenquerschnitte wie 2 : 3.

Das magnetische Feld der Elektromagnete soll bei geringsten Kosten ein stärkstes sein.

Die wichtigsten Eigenschaften des Eisenkernes der Elektromagnete sind:

1. Der Eisenkern soll voll und nicht hohl sein.

2. Die Magnete sollen möglichst viel Eisen enthalten.

3. Das Eisen soll sehr weich sein, weil weiches Eisen die meisten Kraftlinien aufzunehmen vermag.

4. Der Widerstand des magnetischen Stromkreises muss ein Kleinster sein. Zur Erreichung dieser Eigenschaften tragen bei:

a) Ein grosser Querschnitt des Eisens.

b) Ein kleinster Weg der Kraftlinien; diese Eigenschaft bedingt den Bau von Maschinen mit nur einem magnetischen Stromkreise.

c) Die Theile der Feldmagnete (der Kern, das Joch und das Polstück) sollen ein Ganzes bilden. Sind abgesonderte Polansätze (Polschuhe, Poltheile, Polstücke) nicht zu vermeiden, so müssen dieselben aus weichstem Eisen bestehen und die Verbindungsflächen einander vollkommen angepasst werden.

d) Der Abstand zwischen dem Polschuhe und dem Eisenkerne des Ankers muss ein kleinster sein.

Die Luftschichten und das Kupfer zwischen dem Polschuhe und dem Ankereisen setzen den magnetischen Kraftlinien beinahe denselben Widerstand entgegen; sei die magnetische Durchlässigkeit (Permeabilität) der Luft bezüglich der Kraftlinien = 1, so ist die magnetische Durchlässigkeit der verschiedensten Eisensorten 5 bis 2000.

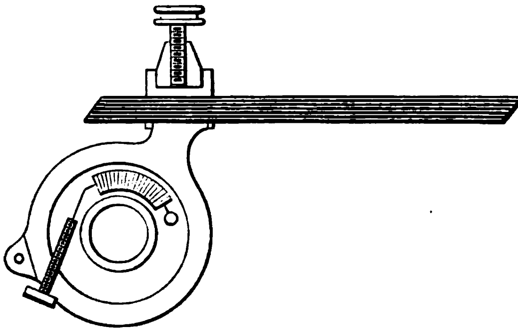


Fig. 168.

5. Der kreisförmige Querschnitt ist der beste, weil

a) das Kupfergewicht der Magnete bei gleicher Windungszahl einen kleinsten Wert hat,

b) der Eisenquerschnitt bei derselben Windungszahl am größten ist,

c) das Wickeln der Spulen am bequemsten ausführbar erscheint und

d) die Streuung der Kraftlinien am geringsten wird.

6. Die magnetische Wirkung der Feldmagnete muss die des Ankers überwiegen, wenn nicht Funkenbildung oder Bürstenverschiebung eintreten soll.

7. Scharfe Kanten und Ecken an den Magneten, insbesondere an den Polschuhen sind unzulässig, weil sonst das magnetische Feld ungleichmäßig wird und ein Streuen der Kraftlinien stattfindet.

8. Die Richtung der Körnung des Eisens soll in die Richtung der Kraftlinien fallen.

9. Die Magnetschenkel aus Gusseisen sollen so gegossen werden, dass die Polschuhe den untersten Raum der Form ausfüllen, weil die Dichte des Eisens an diesem Theile des Magnetes der Streuung der Kraftlinien entgegenwirkt.

10. Das Abkühlen der Gusständer darf nicht durch Bespritzen mit Wasser beschleunigt werden.

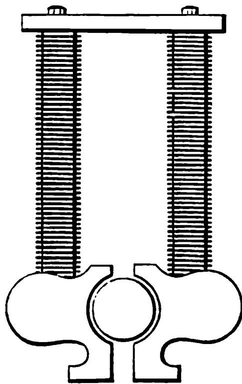


Fig. 169.

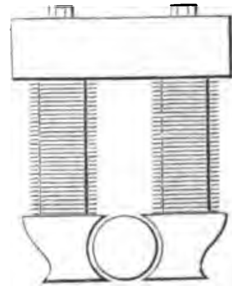


Fig. 170.

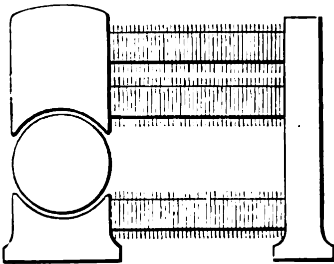


Fig. 171.

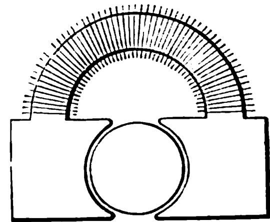


Fig. 172.

11. Falls die Magnetschenkel mit den Polschuhen auf die eiserne Lagerplatte aufgebaut sind, muss man dieselben durch Zwischenlegung von Messing, Zink oder sonstige unmagnetische Metallmassen von der letzteren fern halten, weil sonst die Kraftlinien durch den Körper des Maschinengestelles übertreten; selbst dann lässt sich nachweisen, dass ein bedeutender Verlust an Kraftlinien stattfindet.

126. Die Formen der Feldmagnete zerfallen in 3 Gruppen. Für die Beurtheilung der Formen der Feldmagnete (Elektromagnete) sind die zuletzt aufgestellten Haupteigenschaften derselben bestimmend.

127. Gruppe I. Die Form von Wilde, Fig. 169. Der Querschnitt des Eisens des Joches ist unzureichend.

Die Form von Thomas Alva Edison (Menlopark bei New-York, 1879), Fig. 170; diese Maschinen haben entweder 2 Magnetschenkel, wie die Form von Wilde oder zwei vielfache Magnetschenkel (mehrere Magnetschenkel mit gemeinsamen Polschuhen).

Die „Dampfdynamo" von Edison, Fig. 171, mit direktem Antriebe hat einem vier- und einen achtfachen Schenkel (1881 in Paris ausgestellt).

Die Maschine von Edison-Hopkinson, Fig. 170, besitzt kurze Magnetschenkel; Compagnie Continental Edison und Société

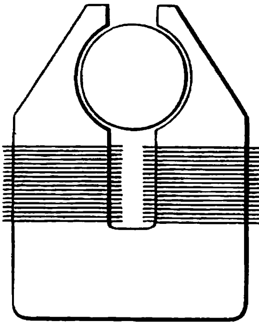


Fig. 173.

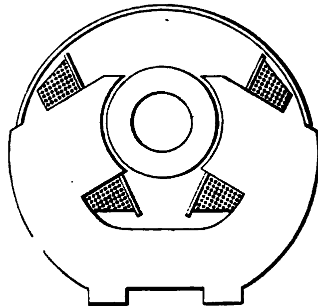


Fig. 174.

electrique Edison in Paris (1883 in Wien ausgestellt); Siemens & Halske, Allgemeine Elektricitätsgesellschaft in Berlin (Wien, 1888, Jubiläums-Gewerbe-Ausstellung) verwenden sämmtlich auch Magnetkörper dieser Form.

Die Maschine von Edison-Hopkinson, Fig. 170, unterscheidet sich von der in Fig. 169 dargestellten vortheilhaft durch sehr starke Magnetschenkel und einen kürzeren Weg der Kraftlinien.

Franz Kröttlinger in Wien baute Edisonmaschinen, deren Polschuhe aus Gusseisen bestanden und, sowie in den Maschinen von Fein & Schwerd, den Ring auch auf der inneren Seite umfassten.

Der Gramme'sche Anker von Desmond G. Fitzgerald, ist von einem, aus drei Theilen bestehenden, Elektromagnete umgeben.

Die Form von Silvanus P. Thompson, Fig. 172, erhält nur eine Magnetbewickelung; der Weg der Kraftlinien in den Feldmagneten ist ein kleinster.

Die Form von Sawoyer; Lontin; Siemens & Halske, Fig. 173; Kapp; Gramme, B. Egger & Co.; Kremenezky, Mayer & Co.;

Deckert & Homolka; Cabella („Technomasio“); Paterson & Cooper; F. Křižik, Prag-Karolinenthal (mit elliptischem Querschnitte der Magnetschenkel; diese Maschinen besorgten einen Theil der elektrischen Beleuchtung anlässlich der Jubiläums-Gewerbe-Ausstellung im Jahre 1888 in Wien).

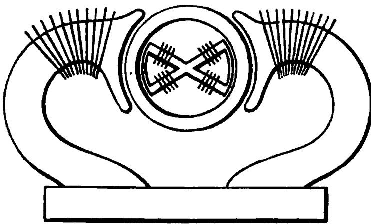


Fig. 175.

Die Form von Fein in Stuttgart, Fig. 174, mit einwärts gerichteten Polen.

Die Form von Jürgensen (Junger's mechanisches Etablissement in Kopenhagen, 1881 in Paris ausgestellt), Fig. 175.

Die Form von A. Th. Edelmann (1878, München), Fig. 176, diese Maschinen sind hauptsächlich für Versuchszwecke bestimmt und gestatten verschiedene Schaltungen der Ankerdrähte. Die Magnetwickelung ist so angeordnet, dass die Anzahl der Lagen, von den Polschuhen aus gesehen, abnimmt.

Die Form von Silvanus P. Thompson (1886), Fig. 177; Goldon und Trotter.

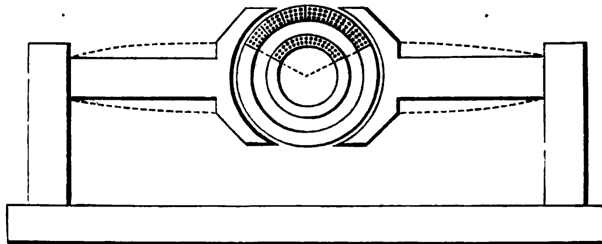


Fig. 176.

Maschinen mit einer Wickelung werden weiteres gebaut von Schorch in Darmstadt; Kennedy in Glasgow; Immish; Statter & Co.

Die Form von Jones (Greenwood & Batley, Leeds), Fig. 178, hat Aehnlichkeit in Bezug auf die Lage des magnetischen Feldes mit der in Fig. 171 skizzirten Edison-Dynamo. Bei der neuen Bogenlichtmaschine von Edison[1]) sind die Elektro-

[1]) Elektrotechnische Zeitschrift, Berlin 1891, Seite 117.

magnete horizontal nebeneinander, bei der Maschine von Jones (1881 in Paris ausgestellt) vertikal übereinander befestigt.

Die Maschinen mit der in Fig. 173 wiedergegebenen Form (insbesondere kreisförmigen und starken Querschnitt des Magneteisens,

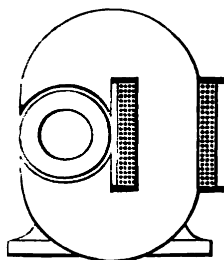


Fig. 177.

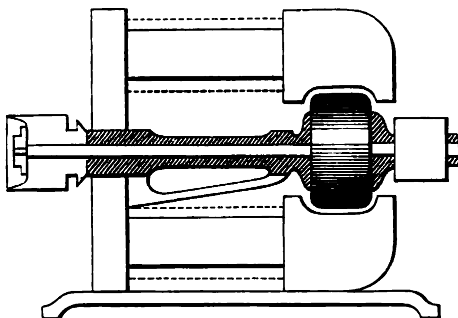
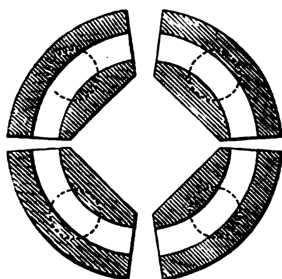


Fig. 178.



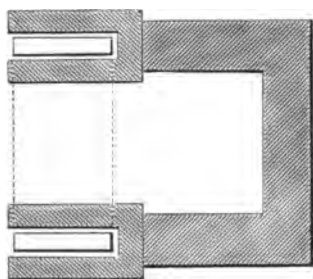


Fig. 179.

kürzesten Weg der Kraftlinien und abgerundete Polschuhe vorausgesetzt) sind am einfachsten und billigsten herzustellen und für Maschinen bis zu einer Leistung von 100000 Watt vorzüglich geeignet.

Die Form von Sperry (Nordamerika), Fig. 179, besteht aus 4 cylindrischen Magneten.

Ein Gramme'scher Ring rotirt innerhalb der Polschuhe.

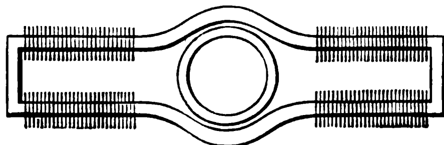


Fig. 180.

128. Gruppe II. Die Form von Siemens & Halske (1872, in Paris ausgestellt 1881), Fig. 180; Maxim (United States Electric Light Compagny); Gebrüder Naglo in Berlin; Heinrich in London besteht aus schmiedeeisernen Lamellen, hat Folgepole, (zwei

gleichnamige Pole liegen nebeneinander) und zwei magnetische Stromkreise. Der Querschnitt des Magneteisens war unzulänglich. Das liegende Modell dieser Maschine bauten Siemens & Halske (1876); Schwerd & Scharnweber (Elektrotechnische Fabrik Cannstadt in Württemberg); Schorch & Co. in Rheydt (Filiale Kiel).

Die Form von Crompton-Kapp, Fig. 181; Paterson & Cooper. Zwei prismatische Eisenplatten, welche in der Mitte ausgewölbt sind, werden durch zwei Mittelstücke (Joche) mit einander verbunden. Die Zahl der Verbindungsflächen beträgt 2 × 2, der Eisenquerschnitt der Magnete ist zureichend.

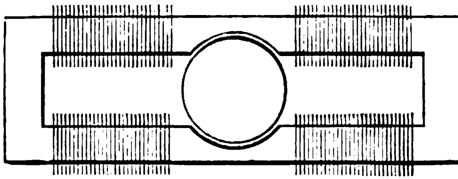


Fig. 181.

Die Form von Forbes, Fig. 182, zeichnet sich durch besonders kräftige Magnetschenkel aus und hat zwei Verbindungsflächen. Die Wickelung ist so angebracht, dass sie den Anker unmittelbar magnetisirt.

Die Form von Edward Weston in Newark (New Jersey in Nordamerika), Fig. 183; Crompton 1884; Paterson & Cooper („Phönix Dynamo"); B. Egger & Co. in Wien und Budapest; Gebrüder Naglo in Berlin.

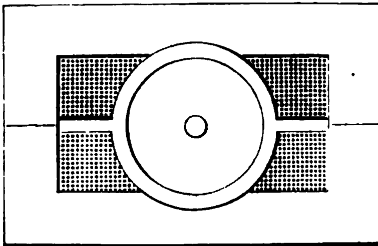


Fig. 182.

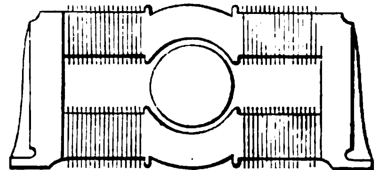


Fig. 183.

Diese Maschinen stammen aus dem Jahre 1877 und erhielten 1881 die in der Fig. 183 dargestellte Form. Das Eisengerüst der Maschine hat einen sehr starken Bau.

Die Form von Mac Tighe, Fig. 184; Joel; Mather & Platt; Hopkinson (Manchester-Maschine), Clarke, Muirhead & Co. (Westminstermaschine); Blakey, Emott & Co.; Sprague; Kremenezky, Mayer & Co. in Wien. Die Magnetwickelung befindet sich auf zwei senkrecht stehenden Magnetkernen aus Schmiede-

eisen, welche oben und unten durch gusseiserne Poltheile mit einander verbunden sind. Diese Maschinen haben zwei magnetische Stromkreise und 4 Verbindungsflächen.

Die Tighe-Maschinen besitzen Folgepole und die verschiedensten Eisenquerschnitte der Magnetschenkel.

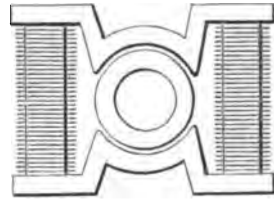


Fig. 184.

Die Form von O. E. Brown (Oerlikon) und O. E. Brown & Boveri, Fig. 185, unterscheidet sich von der letzten Form hauptsächlich durch einen sehr großen Eisenquerschnitt, also auch einen sehr großen Querschnitt der magnetischen Stromkreise.

Die Form von Elwell Parker (Commercial-road Works, Wolverhampton, 1885 ausgestellt in der Investions-Exhibition in London), Fig 186. Die Polschuhe sind in den Magneten befestigt,

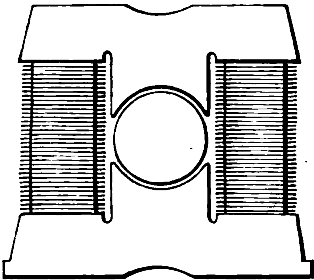


Fig. 185.

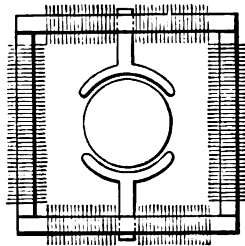


Fig. 186.

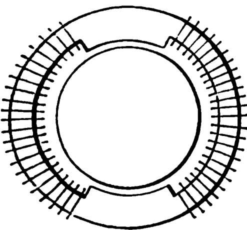


Fig. 187.

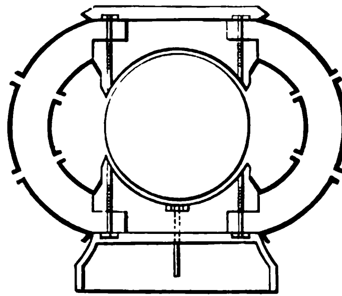


Fig. 188.

die Zahl der Verbindungsflächen beträgt sechs, der Eisenquerschnitt ist ungenügend. Die vier Magnetkerne bestehen aus Schmiedeeisen, die Polschuhe aus Gusseisen.

Die Form von Griscom, Fig 187, und die Abänderung derselben von Gisbert Kapp (bei W. H. Allen & Co., Lambeth,

London, früher bei R. E. Crompton & Co., gegenwärtig Sekretär des Verbandes Deutscher Elektrotechniker), Fig. 188, mit zwei Verbindungsflächen, bedingt infolge ihrer halbringförmigen Feldmagnete eine schwer ausführbare Magnetwickelung.

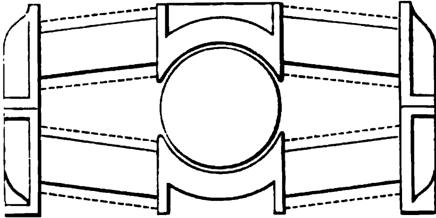


Fig. 189.

Die Form von Emil Buergin in Basel (Firma Buergin & Alioth), Fig. 189; R. E. Crompton & Co. in Chelmsford (1884); A. de Méritens in Paris (1882).

Die erste Buerginmaschine wurde im Atelier Turretini in Genf (1878) gebaut.

Bei demselben Durchmesser des Ankers sind bei dieser Magnetform die Wege der Kraftlinien kürzer als in der Form von Weston, Fig. 183.

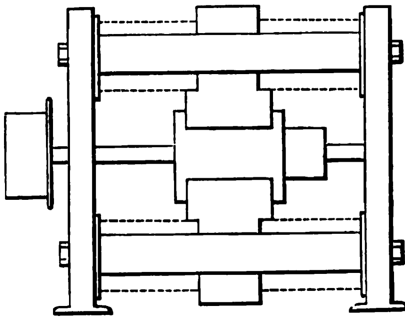


Fig. 190.

Die Form von Gramme (1872), Fig. 190; Maison Breguet in Paris; Heilmann, Ducommun & Steinlein in Mühlhausen; Sautter, Lemonier & Co. in Paris; vormals Brückner, Ross & Consorten in Wien; Comp. electrique in Paris; Société Gramme in Paris; Société de l'Eclairage electrique in Paris; C. & E. Fein in Stuttgart; Cabella (Institut Tecnomasio in Mailand).

In den früheren Maschinen ist die Welle senkrecht gegen die Magnetschenkel, in dieser Maschine in der Richtung derselben gelagert. In der Mitte tragen die Schenkel die beiden Polansätze, welche den Anker halbkreisförmig umfassen, so dass die Abstände zwischen den Polen beiläufig je $^3/_8$ ihrer Wölbung (Bohrung) betragen.

Die Form von Ball in Philadelphia, Fig. 191. Die Polstücke sind gegeneinander versetzt. Vier Spulen erzeugen durch ihre Anordnung Folgepole. Diese Maschine besitzt zwei Gramme'sche Ringe und zwei Kollektoren.

Die Form von Gramme, Fig. 192. Der Weg der Kraftlinien in den Feldmagneten ist zu lang.

Die Form von Hochhausen, Fig. 193. Der Weg der Kraftlinien in den Magneten ist zu lang und der Querschnitt der Joche zu schwach.

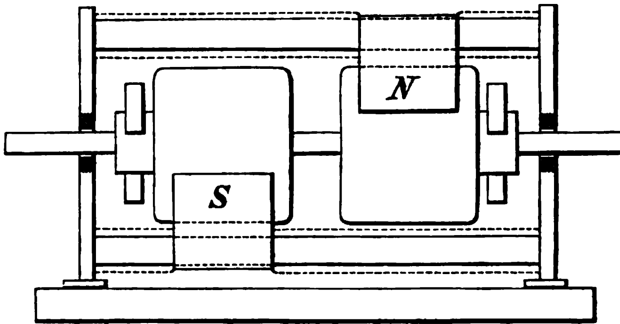


Fig. 191.

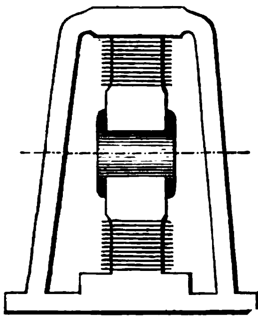


Fig. 192.

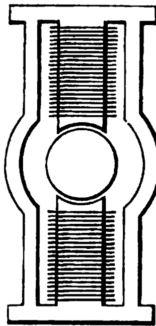


Fig. 193.

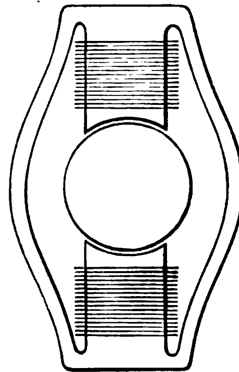


Fig. 194.

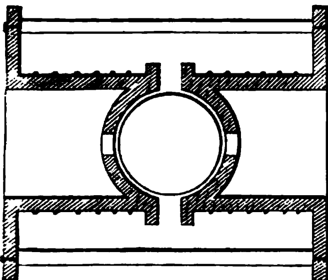


Fig. 195.

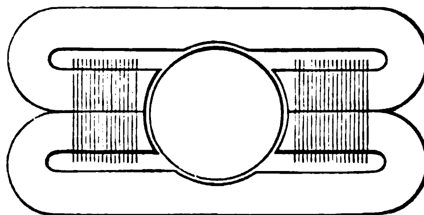


Fig. 196.

Die Form von van de Poele (1884 in Philadelphia ausgestellt), Fig. 194, besitzt die Nachtheile der letzten Form.

Die Form von Thomson & Houston (1891 in Frankfurt a. M. ausgestellt), Fig. 195. Die Kerne der Feldmagnete sind hohl, der Anker ist kugelförmig.

Die Form von Kennedy, Fig. 196. Die starken Kerne bestehen aus Schmiedeeisen.

Die Form von Kapp, Fig. 197, zählt vier Pole (2 Pole sind hervorragend, die anderen 2 befinden sich zwischen denselben), Ganz & Co. („Gnom- Maschine“), Lahmeyer, Wenström.

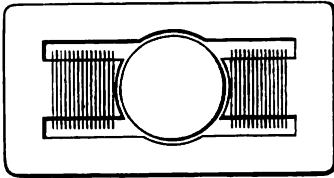


Fig. 197.

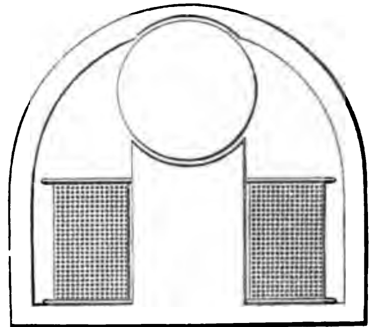


Fig. 198.

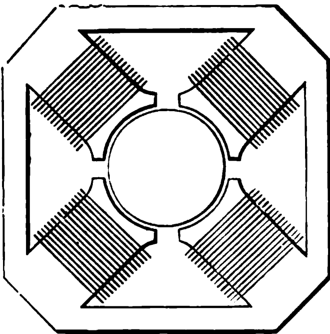


Fig. 199.

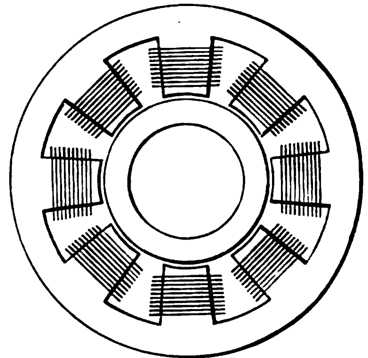


Fig. 200.

Die Form von Mac Tighe (1882), Fig. 198, Stafford und Eaves.

Zu den Magnetformen der II. Gruppe zählen weiters die Magnetformen der mehrpoligen Maschinen (Gramme, Siemens).

Die Form von Gramme (1878), Fig. 199, fand Verwendung bei der ersten praktisch ausgeführten vierpoligen Maschine, Compagnie électrique (1883), A. de Mèritens, Andrews & Co. in Glasgow, R. Alioth & Co. in Basel (4 Verbindungsflächen, Magnet-

eisen und Polschuhe sind bewickelt), William Baxter[1]) in Baltimore (Baxter Electrique Compagnie).

Die Form von Wilde, Fig. 200, Gramme, B. Egger & Co. in Wien und Budapest (1890, vier- und sechspolige Maschinen), Gérard (Gleichstrommaschine mit Polanker), Elwell-Parker (Wechselstrommaschine mit Cylinderring, der Armaturkern besteht aus Eisendraht, welcher durch Umspinnung isolirt ist).

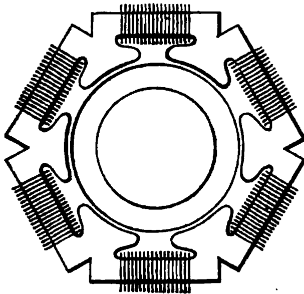


Fig. 201.

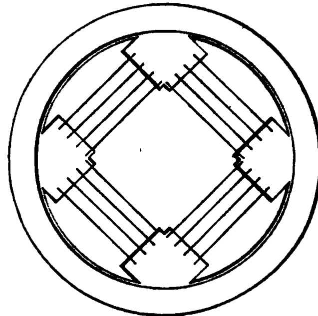


Fig. 202.

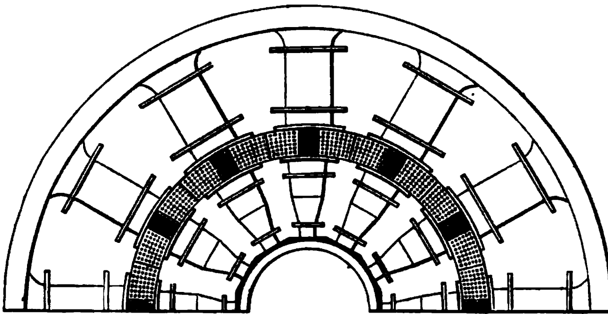


Fig. 203.

Die Form von Meuron & Cuènod, System Thury in Genf, Fig. 201, sechspolige Trommelmaschine.

Die Form von Siemens & Halske, Fig. 202, Maschine mit Innenpolen, der Ring rotirt außerhalb der Magnetschenkel. Für sehr große Maschinen mit höchster Leistungsfähigkeit ist die Magnet- und Maschinenform von Siemens & Halske, Fig. 203, bestimmend; letztere Maschine war im Jahre 1883 in Wien ausgestellt.

[1]) Elektrotechnische Zeitschrift, 1891, Seite 101.

Innerhalb und außerhalb des rotirenden Ankers befinden sich Magnetpole (Innen- und Außenpolmaschine), S. Schuckert in Nürnberg, Ganz & Co. in Budapest (1883 in Wien ausgestellt).

Die Maschinen der letzten Firma sind Wechselstromerzeuger. Die Magnetschenkel werden durch eine Gleichstrommaschine erregt. Die größte dieser Maschinen leistet 380.000 Watt, bei 5000 Volt und 125 Touren, hat 40 Pole und wird direkt angetrieben.

Stanley-Westinghouse (Pennsylvanien), Lontin (1878 in Paris ausgestellt), Kingdon, Jablochkoff (1878). Auch die vier letzten Maschinen erzeugen Wechselstrom.

129. Gruppe III. Die Form von Brush, Fig. 204, Sigmund Schuckert in Nürnberg (1876), B. Egger & Co. in Wien und Budapest, Helios in Ehrenfeld-Köln, Maschinen-Aktien-

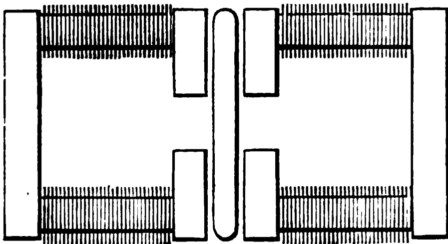


Fig. 204.

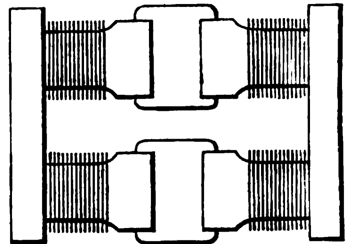


Fig. 205.

Gesellschaft L. Schwarzkopff in Berlin, Görlitzer Maschinenbauanstalt und Eisengießerei, Deckert & Homolka in Wien, Schuckert-Mordey (Anglo American Brush Electric Light Corporation), Spiecker & Co. (Commanditgesellschaft für elektrische Beleuchtung in Köln), Alphons Gravier (Kuksz, Lüdke & Grether in Warschau), Gebrüder Fraas in Wunsiedel (Bayern), Robert Moessen in Wien.

Das magnetische Feld dieser Maschinen ist aus zwei magnetischen Stromkreisen zusammengesetzt, der Anker derselben ist zumeist mit der offenen Brush-Wickelung oder der geschlossenen Flachringwickelung versehen. Die Zahl der Magnetpaare beträgt entweder zwei, vier, sechs u. s. w.

Man kann sich diese Maschinen aus der Gramme'schen Maschine, Fig. 190, dadurch entstanden denken, dass die Folge- (Doppel-) Pole der letzteren in vier getrennte Pole getheilt wurden. Das erste amerikanische Patent von Brush datirt aus dem Jahre 1877.

In diese Gruppe gehören weiters mehrpolige Maschinen mit Scheibenanker: H. Wilde (Manchester, 1867); diese Maschine erinnert an die mehrpolige Maschine von Soren-Hjorth (Kopenhagen, 1855) mit Stahl- und Elektromagneten, Wallace Farmer (1876), F. von Hefner-Alteneck (1881, die Armaturspulen enthalten kein Eisen), J. Hopkinson und A. Muirhead, Sir W. Thomson und Ziani di Ferranti, B. Egger & Co. Wien und Budapest (1885, Bollmann); der Anker enthält kein Eisen und besteht aus Kupferstreifen, Jehl und Rupp,[1]) Th. A. Edison (1881), Desroziers (Paris).

Wechselstrommaschinen mit Scheibenanker: Siemens & Halske (1878), Lachausée & Lambotte in Lüttich (1881 in Paris von der Brüsseler Compagnie Générale Belge de Lumière Electrique ausgestellt); die Armatur steht fest, das Magnetsystem dreht sich, Chertemps-Danden, Gérard (1883 in Wien von der Société anonyme d'Elektricité aus Paris ausgestellt); zur Erregung des Magnetismus dient eine besondere Maschine, J. Hopkinson und A. Muirhead, Ferranti-Thomson (1883 in Wien ausgestellt); die Maschine aus dem Jahre 1884 leistet 5000 Glühlampen von je 200 Volt und 0·33 Ampère, Gordon (die Feldmagnete rotiren), Matthews, Alexander Klimenko in Charkow (1883 von der Compagnie Electrique in Wien ausgestellt), Mordey, Brush (Brush Electrique Compagny, Leistung: 60.000 Watt bei 2000 Volt).

Die Wechselstrommaschine mit Flachringanker von Kapp; die größere Type hat eine Leistung von 120.000 Watt.

Die Form von Marcel Deprez, Fig. 205, mit zwei Ankern; je zwei ungleichnamige Pole liegen einander gegenüber.

Die Form von Elwell Parker (Commercial-road-Works, Wolverhampton, England), Fig. 206; diese Form hat große Aehnlichkeit mit der Form in Fig. 189, Seite 160.

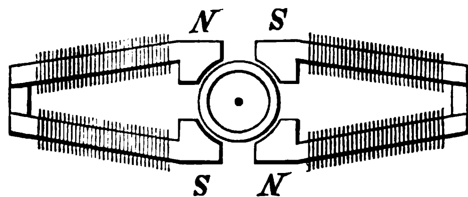


Fig. 206.

Die Form von Lord Elphinstone & Vincent[2]) in London (1882), Fig. 207; innerhalb und außerhalb der rotirenden Trommel befinden sich Elektromagnete (Maschine mit Innen- und Außenpolen). Im Jahre 1883 leistete eine dieser Maschinen, in Wien ausgestellt,

---

[1]) Zeitschrift für Elektrotechnik Wien, 1887, Seite 393.

[2]) Borns, Elektrotechn. Zeitschrift, 1883, Seite 222.

die nach ihren Abmessungen kaum zu erwartende elektrische Arbeit von 20.000 Watt bei 1000 Touren in der Minute. Die Schaltung dieser Nebenschlussmaschine ist aus derselben Figur ersichtlich. Im äußeren Stromkreise waren 400 Glühlampen System Woodhouse & Rawson zu 16—20 englischen Normalkerzen eingeschaltet.

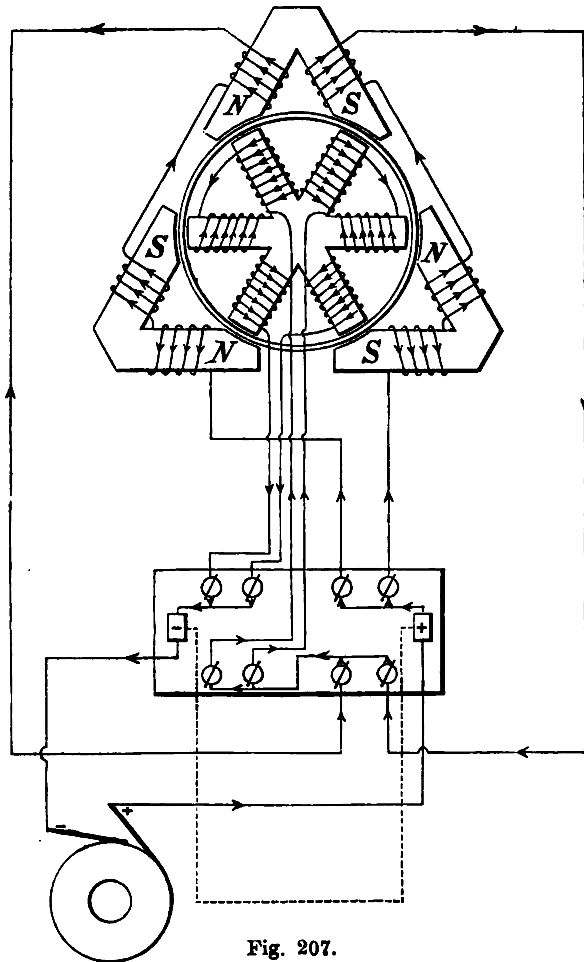


Fig. 207.

III. Die Schaltung und Regelung der elektrischen Maschinen und Motoren.

130. Bezeichnungen für die Betriebsgrößen.

Bedeutet E die elektromotorische Kraft, gemessen in Volt,
J die Stromstärke im Anker, gemessen in Ampère,

e die Klemmenspannung, gemessen in Volt,
i die Stromstärke im äußeren Stromkreise, gemessen in Ampère,

so sind EJ der gesammte elektrische Effekt, gemessen in Voltampère (Watt),
ei der elektrische Effekt, gemessen in Voltampère,
$G_e = \frac{e \cdot i}{E \cdot J}$ das elektrische Güteverhältnis, eine Zahl,
N die Anzahl der mechanischen Pferdekräfte,
$G_m = \frac{EJ}{736} \times \frac{1}{N}$ das mechanische Güteverhältnis.

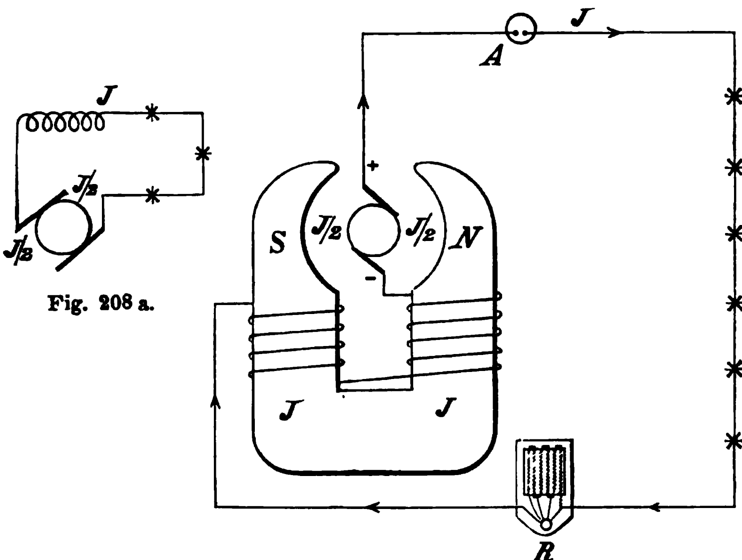


Fig. 208 a.

Fig. 208 b.

131. Reihenmaschine (Serienmaschine, Hauptstrommaschine), Siehe Fig. 154, Seite 142.

Die beiden Schemen in den Fig. 208 a und 208 b zeigen die Schaltung der Reihenmaschine; bei dieser Maschine sind die beiden Ankerhälften, die Magnete und der äußere Stromkreis hintereinander geschaltet. Ist der Ankerstrom gleich J, so muss die Stromstärke in jeder Ankerhälfte gleich $\frac{J}{2}$, in den Magneten und im äusseren Stromkreise gleich J sein. Der Regulirwiderstand R und der Ampèremesser A sind in den Außenstrom eingeschaltet.

Beispiel: Wie groß ist der Querschnitt des Ankerdrahtes einer Reihenmaschine für 12 Ampère, wenn die zulässige Beanspruchung des Ankerdrahtes 4 Ampère für 1 mm^2 beträgt?

In diesem Falle fließen durch jede Ankerhälfte 6 Ampère und es muss deshalb der Querschnitt des Ankerdrahtes $\frac{6}{4} = 1{\cdot}5$ mm^2 sein.

Beispiel: Welcher Querschnitt der Magnetdrähte entspricht bei einer Beanspruchung derselben von 2 Ampère für 1 mm^2 einer Reihenmaschine mit einem Außenstrome von 12 Ampère?

Nach Annahme sind für 1 mm^2 Querschnitt der Magnetdrähte 2 Ampère als Stromstärke zulässig. Der Querschnitt muss deshalb für 6×2 Ampère, 6×1 mm^2 sein.

Beispiel: Die Leistung einer Reihenmaschine sei 10 Ampère bei 250 Volt; wie viel Bogenlampen mit je 5 Ohm Widerstand können in den Stromkreis derselben eingeschaltet werden?

Da die Spannung 250 Volt und die Stromstärke 10 Ampère betragen, so sind der gesammte Widerstand nach dem Ohm'schen Gesetze

$$W = \frac{E}{J} = \frac{250}{10} = 25 \text{ Ohm},$$

folglich die Anzahl der Lampen $= \frac{25}{5} = 5$ und die auf eine Lampe entfallende Spannung $= \frac{250}{5} = 50$ Volt.

Zu dem letzten Beispiele sei bemerkt, dass Bogenlampen immer ein bestimmter, sogenannter Beruhigungswiderstand (hier gleichzeitig Regulirwiderstand R) vorgeschaltet wird, wenn dieselben keinen Lichtschwankungen unterworfen sein sollen; dieser Widerstand und der Widerstand des Leitungssystems werden in der Rechnung durch eines oder beide der folgenden Mittel berücksichtigt:

a) Die Erhöhung der Spannung der Maschine durch die Tourenzahl. Der Beruhigungs- oder Vorschaltwiderstand sei gleich 2 Ohm; dieser verbraucht bei 10 Ampère nach dem Ohm'schen Gesetze $V = J \times W = 10 \times 2 = 20$ Volt.

Ein Widerstand der Leitungen von 0·3 Ohm beispielsweise bedingt einen Spannungsverlust

$$V = J \, . \, W = 10 \, . \, 0{\cdot}3 = 3 \text{ Volt}.$$

Somit ergibt die vollständig durchgeführte Rechnung eine erforderliche Maschinenspannung von $250 + 20 + 3 = 273$ Volt und einen Gesammtwiderstand von $25 + 2 + 0{\cdot}3 = 27{\cdot}3$ Ohm; aus den letzteren

Größen muss sich nach dem Ohm'schen Gesetze die normale Betriebsstromstärke von 10 Ampère ergeben:

$$J = \frac{E}{W} = \frac{273}{27{\cdot}3} = 10 \text{ Ampère.}$$

b) Die Verkleinerung des Widerstandes (der Lampenzahl). Bei 250 Volt und 10 Ampère Maschinenleistung erfüllen das Ohm'sche Gesetz:

$$W = \frac{E}{J} = \frac{250}{10} = 25 \text{ Ohm Widerstand.}$$

Schaltet man nur 4 Lampen (20 Ohm) in den Stromkreis ein, so müssen der Regulir- und der Leitungswiderstand zusammen 5 Ohm betragen.

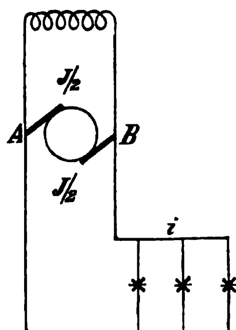


Fig. 209 a.

132. Nebenschlussmaschine (Nebenstrom- oder Shuntmaschine), Fig. 155, Seite 143, Fig. 209 a, 209 b und 209 c.

Die 4 zwischen den Punkten *A* und *B*, Fig. 209 a, 209 b und 209 c, parallel geschalteten Stromzweige der Nebenschlussmaschine sind:

a) Der Stromzweig durch die eine Ankerhälfte $\frac{J}{2}$.

b) „ „ „ „ zweite „ $\frac{J}{2}$.

c) „ Stromweg durch die Magnete . . . . i_n.

d) „ „ „ den äußeren Stromkreis i.

Der im Anker erzeugte Strom $\frac{J}{2} + \frac{J}{2} = J$ fließt zum Theile durch den äußeren Stromkreis (i), zum Theile durch die Magnete (i_n), es sind deshalb:

$$J = i_n + i,$$
$$i = J - i_n \text{ und}$$
$$i_n = J - i.$$

Die Einschaltung des Magnet-Rheostates *R* in den Magnetstromkreis kann an einer ganz beliebigen Stelle desselben zwischen den Polen *A* und *B* vorgenommen werden; zu den gebräuchlichsten Fällen zählen:

a) Die Schaltung des Rheostates zwischen die Magnetschenkel, Fig. 209 b.

b) Die Schaltung des Rheostates zwischen ein Ende der Magnetwickelung und einen Pol der Maschine, Fig. 209 c. Die Schaltung in

Fig. 209 b ist praktisch, wenn sich der Rheostat in der Nähe der Maschine befindet; bei dieser Schaltungsweise müssen jedoch zwei Drähte bis zu einem entfernten Orte geführt werden, wenn dort (z. B. auf einem Schaltbrette) der Rheostat aufmontirt erscheinen soll, während die Schaltung in Fig. 209 c nur einen Draht erfordert.

Bei der Nebenschlussmaschine wird die Regulirung des magnetischen Feldes (insbesondere Regulirung der Spannung) durch einen, in die Magnete eingeschalteten, Rheostat besorgt. Bei der Serienmaschine lagen der das magnetische Feld regulirende Widerstand und die Magnete selbst im Hauptstromkreise.

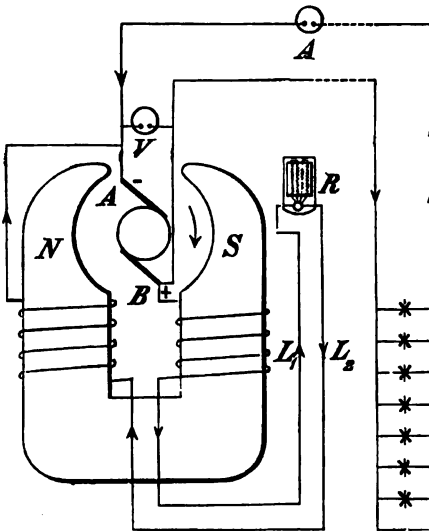


Fig. 209 b.

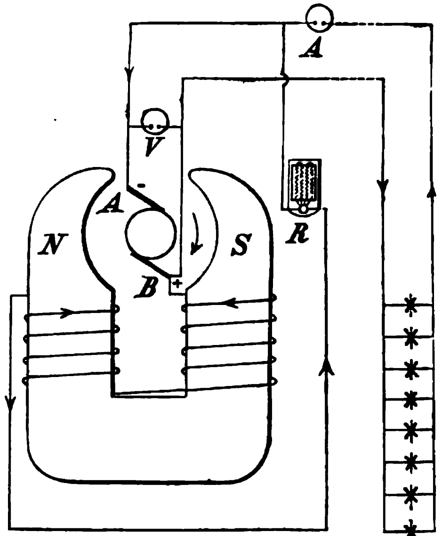


Fig. 209 c.

Beispiel: Es ist der Widerstand der Magnetwickelung einer Nebenschlussmaschine zu berechnen, wenn der Magnetstrom mit 4 Ampère und die Betriebsspannung mit 100 Volt angenommen werden?

$W = \frac{E}{J} = \frac{100}{4} = 25$ Ohm, beträgt der Widerstand der Magnetwickelung.

Beispiel: Welchen Widerstand erhält ein Magnetrheostat, welcher, unter den Angaben des letzten Beispieles, die Stärke des magnetischen Feldes auf die Hälfte herabzudrücken vermag, d. h. welcher Widerstand muss in diese Magnetschenkel eingeschaltet werden, wenn die Stromstärke in denselben von 4 auf 2 Ampère herabsinken soll?

$W = \frac{E}{J} = \frac{100}{2} = 50$ Ohm, gleich dem Widerstande der Magnete w_1 sammt dem Magnetrheostatwiderstande w_2.

$$W = w_1 + w_2 = 50 \text{ Ohm},$$
$$W = 25 + w_2 = 50 \quad " \quad \text{und}$$
$$w_2 = 50 - 25 = 25 \text{ Ohm}.$$

133. Maschinen mit gemischter oder Verbundwickelung (Doppelschlussmaschinen oder Compoundmaschinen) sind Maschinen, welche mehrere neben-, übereinander oder auf besonderen

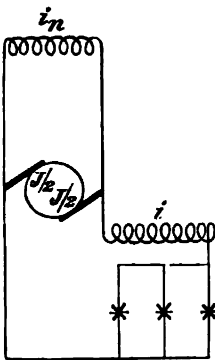


Fig. 210 a.

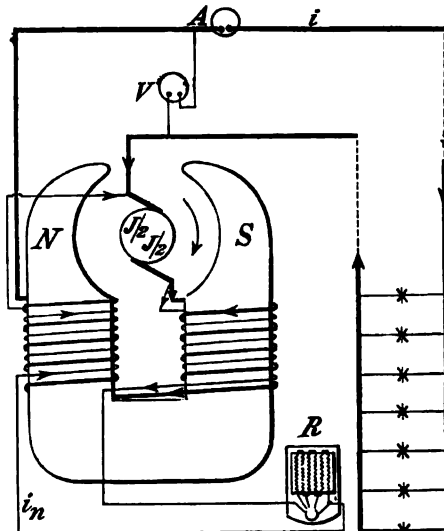


Fig. 210 b.

Kernen angeordnete Wickelungen auf den Magnetschenkeln besitzen; diese Maschinen vermitteln, gleiche Tourenzahl vorausgesètzt, eine Regelung auf gleiche Spannung oder auf gleiche Stromstärke bei ungleichen Lampenzahlen. Sind sämmtliche Lampen nebeneinander (parallel) geschaltet, so ist eine konstante (gleiche) Spannung erforderlich, während bei hintereinander geschalteten Lampen eine Regelung auf gleiche Stromstärke maßgebend ist. Bei übereinander angeordneten Wickelungen befindet sich die Reihenspule gewöhnlich innen.

a) Methode von Brush (1879). Gemischte Schaltung mit kurzem Nebenschlusse, Fig. 210 a und 210 b.

Durch diese Schaltung wird das magnetische Feld zum Theile von dem Außenstrome (Hauptstrome), zum Theile von der Nebenschluss-

wickelung erzeugt. Soll die Spannung innerhalb **weiter** Grenzen gleich erhalten werden, so muss der Nebenschluss aus sehr vielen Windungen eines dünnen Drahtes mit hohem Widerstande bestehen.

b) **Methode von Brush** (S. P. **Thompson**, 1882). **Gemischte Schaltung mit langem Nebenschlusse**, Fig. 211a und 211b.

Die beiden Methoden, Fig. 210 und 211 unterscheiden sich bloß durch den Anschluss der dünnen Wickelung; bei der ersten Methode findet dieser Anschluss geradeso statt, wie bei der Nebenschlussmaschine

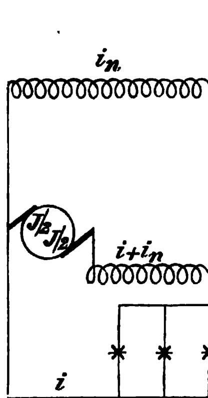


Fig. 211 a.

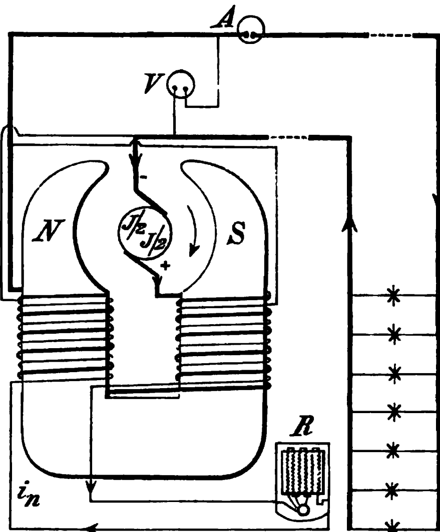


Fig. 211 b.

(an den Bürsten), bei der zweiten Methode liegen die dünnen Windungen im Nebenschlusse zum äußeren Stromkreise. Für die Stromstärken und Querschnitte der Wickelungen der letzten Maschine gelten

für den Anker dieselben Regeln, wie bei den Reihen- und Nebenschlussmaschinen,

bei den dünnen Wickelungen der Magnete die für die Nebenschlusswickelung angegebenen Bestimmungen und

für den Querschnitt der dicken Wickelung die für Reihenspulen maßgebenden Bedingungen.

Nachdem die dicken Windungen in den Hauptstromkreis eingeschaltet sind, ist es selbstverständlich, dass dieselben einen geringen Widerstand (großen Querschnitt) haben müssen, wenn durch dieselben nicht erhebliche Spannungsverluste und starke Erwärmung entstehen sollen.

Beispiel: Wie groß ist der Querschnitt der dicken Windungen einer Maschine mit gemischter Wickelung bei einer Beanspruchung von 2 Ampère für 1 mm^2, wenn der Außenstrom 200 Ampère beträgt?

Für 2 Ampère, ist der erforderliche Querschnitt gleich 1 mm^2, also für 100 × 2 Ampère, 100 × 1 = 100 mm^2.

Der Querschnitt $q = \frac{\pi . d^2}{4}$, $\pi = 3{\cdot}1416 \doteq 3$,

$$100 = \frac{3 . d^2}{4}; \; d^2 = \frac{400}{3} \doteq 133 \text{ und}$$

der Durchmesser $d = \sqrt[2]{133} \doteq 11$ *mm*. Diese Rechnung gibt den kleinsten noch zulässigen Durchmesser der dicken Magnetwickelung an.

134. Weitere Schaltungen für Gleichspannung.

Andere Arten selbstthätiger Regelung auf gleiche Spannung sind:

1. Die Reihenschaltung mit besonderer Erregung von Marcel Deprez. Diese Schaltung kann bei jeder Reihenmaschine angewendet werden, wenn man die Magnetschenkel derselben mit einer zweiten, in eine eigene Stromquelle (magnetelektrische oder dynamoelektrische Maschine) eingeschalteten, Wickelung umgibt.

2. Ayrton und Perry schalten in den Stromkreis einer Reihenmaschine eine magnetelektrische Maschine ein.

135. Schaltungen für gleichbleibende Stromstärke.

1. Die Nebenschlussschaltung mit besonderer Erregung von M. Deprez.

2. Die Nebenschlussschaltung in Verbindung mit der Erregung durch eine magnetelektrische Maschine von Perry.

3. Die gemischte Wickelung (Nebenschlussschaltung in Verbindung mit Reihenschaltung) zur Regelung auf gleiche Stromstärke wurde zuerst von Silvanus P. Thompson im December 1882 beschrieben.

136. Andere Arten der Regelung.

1. Die Handregulatoren zur Erhaltung der gleichen Spannung oder Stromstärke einer Dynamomaschine bestehen aus einem Regulirwiderstande, Fig. 212, welcher in den zu regulirenden Stromkreis eingeschaltet wird. Das Material dieser Widerstände bilden zumeist Nickel, Neusilber (Argentan, Blanka, Nickelin), Rheotan, Konstantan, Kupfer, Eisen in Form von Drähten, Bändern oder Geweben.

Siemens & Halske stellen sogenannte Drahtsiebwiderstände (netzartige Gewebe aus Metallfäden) her.

Drähte werden auf einem Dorn zu Spiralen gewunden; diese haben gewöhnlich gleiche Länge und sind mit ihren Enden auf einem Gestelle aufgeschraubt.

Die Spiralen (Rollen, Locken) sind entweder einzeln oder in Gruppen hintereinander geschaltet. Von bestimmten Stellen der hintereinander geschalteten Spiralen führen Verbindungen (gewöhnlich isolirte Kupferdrähte) zu den Kontaktstücken c_1, c_2, c_3 u. s. w., auf welchen die durch eine starke Feder niedergedrückte Kurbel (der Hebel) k schleift.

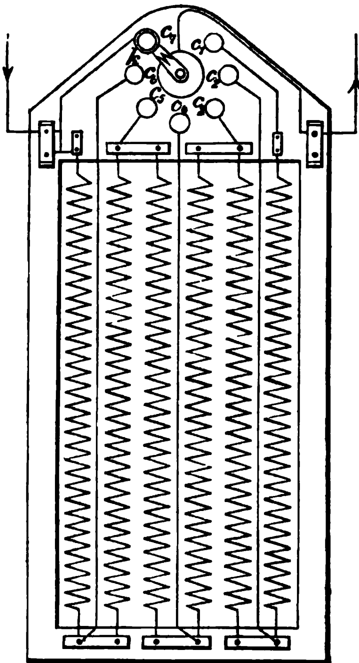


Fig. 212.

Hat der Hebel die Stellung $o\ c_1$, so ist der ganze Widerstand eingeschaltet, während bei der in Fig. 212 wiedergegebenen Stellung des Hebels $o\ c_7$ der Regulator kurzgeschlossen erscheint.

Zwischen diesen beiden Stellungen sind die verschiedenen Widerstände eingeschaltet und zwar so, dass der Widerstand von c_1 aus in der Richtung der Uhrzeigerbewegung immer kleiner wird. Die Spiralen werden gewöhnlich auf Holz- oder Eisenrahmen oder in Kästen aufmontirt (Rahmen und Kasten-Rheostate).

Berechnung. Der Berechnung der Rheostate liegen die Beanspruchung und der specifische Widerstand des Materiales zu Grunde.

Bezüglich der specifischen Widerstände sei auf Seite 45 (Tafel) verwiesen. Die Beanspruchung von Eisendrähten und Bändern von etwa 2 *mm* Durchmesser beträgt rund 2 Ampère für 1 mm^2 bei einer Erwärmung von rund 40° C. Schwächere Drähte lassen eine größere Beanspruchung als stärkere Drähte zu. Nach der zulässigen Erwärmung ist der Querschnitt der Rheostatdrähte zu bemessen. Die den jeweilig eingeschalteten Widerständen entsprechenden Stromstärken bestimmen den Querschnitt des schwächsten Drahtes derselben. Nebenschlussrheostate haben gewöhnlich einen hohen Widerstand (rund 10 bis 50 Ohm) und dünne Spiralen von verschiedenen Durchmessern (etwa 0·5 bis 5 *mm*), Haupt-

stromrheostate einen niederen Widerstand und dicke Spiralen von demselben Durchmesser (von rund 2 *mm* aufwärts). Für die Vertheilung des Widerstandes zwischen den Kontakten sei bei der Nebenschlussmaschine, sowie bei den Maschinen mit gemischter Wickelung, bemerkt, dass sobald der Strom mindestens die Hälfte seiner Intensität (Stromstärke) erreicht hat in der Regel nur mehr ein geringer Widerstand (abhängig von der Größe der Maschine, 1 bis 10 Ohm) in dem Rheostate eingeschaltet ist, dass also für die empfindliche Regulirung nur wenig Ohm in Betracht kommen; es sind demnach zwischen den letzten Kontakten kleine Widerstände einzuschalten.

In der Praxis benützt man für die Berechnung der Spiralen der Rheostate Tafeln, welche für die einzelnen Drahtsorten zusammengehörige Werte von Dorndurchmessern, Drahtstärken, Windungszahlen, Anzahlen der Spiralen und Widerständen abzulesen gestatten.

Beispiel: Ein Rheostat aus Neusilber sei, wenn er ganz eingeschaltet ist, von 2 Ampère durchflossen; welchen Querschnitt hat der schwächste Draht bei einer Beanspruchung von 2 Ampère für 1 mm^2 (rund 20° C. Erwärmung)?

Lösung: 1 mm^2 (1·2 *mm* Durchmesser).

Beispiel: Welche Stromstärke herrscht in den Magneten einer Nebenschlussmaschine, wenn der Widerstand des Nebenschlusses 25 Ohm und die Spannung an den Klemmen (Polen) der Maschine 100 Volt betragen?

$$J = \frac{E}{W} = \frac{100}{25} = 4 \text{ Ampère.}$$

Ist der Widerstand der Magnetschenkel 20 Ohm und sollen blos 4 Ampère durch dieselben fließen, so müssen denselben 5 Ohm (im Magnetrheostate) vorgeschaltet werden und der schwächste Draht wäre bei einer Beanspruchung von 2 Ampère für 1 mm^2, 2 mm^2 (1·6 *mm* Durchmesser).

Beispiel: Es ist der Widerstand eines Hauptstromrheostates, welcher in einem Stromkreise von 10 Ampère Spannungsregulirungen bis zu 5 Volt ermöglicht, zu berechnen.

$$W = \frac{E}{J} = \frac{5}{10} = 0{\cdot}5 \text{ Ohm, d. h.:}$$

Mit einem Rheostate, dessen Widerstand 0·5 Ohm beträgt, können in dem angenommenen Stromkreise Spannungsregulirungen bis zu 5 Volt erreicht werden.

Beispiel: Wie groß ist der Querschnitt eines Hauptstromrheostates für 100 Ampère bei einer Beanspruchung von 2 Ampère für 1 mm^2?

$$\frac{100}{2} = 50\,mm^2 \text{ (8 } mm \text{ Durchmesser).}$$

Beispiel: Wie lang muss ein Draht aus Neusilber (specifischer Widerstand gleich 0·267) von 3 mm Durchmesser sein, wenn er einen Widerstand von 3 Ohm haben soll?

$$W = c \,.\, \frac{l}{7} \text{ (Siehe Seite 44),}$$

$$3 = 0{\cdot}267\,\frac{l}{7},$$

$$3 \times 7 = 0{\cdot}267\,l,$$

$$21 = 0{\cdot}267\,l,$$

$$l = \frac{21}{0{\cdot}267} \doteq 79\,mm.$$

Andere Widerstände.

a) Widerstände aus Kohle, z. B. Lampenbatterien.

b) Widerstände aus Graphit für sehr hohe Widerstände. Siemens & Halske stellen aus Graphit Widerstände bis zu 100 Millionen Ohm her.

c) Flüssigkeitswiderstände, z. B. Zinkvitriollösungen, in welche verschiebbare Elektroden eingetaucht sind, gestatten eine bequeme Aenderung des einzuschaltenden Widerstandes. Solche Widerstände finden insbesondere bei der elektrischen Kraftübertragung als sogenannte Anlasswiderstände Verwendung. Ein Flüssigkeitswiderstand (der Polsucher von Berghausen) wird auch zur Bestimmung der Pole von Stromquellen (besonders Dynamomaschinen) benützt. Der letztere beträgt 7000 Ohm bei einem Querschnitte von 180 mm^2 und einer Länge von 70 mm.

2. Selbstthätige Regulatoren besorgen die Einschaltung verschiedener Widerstände durch Elektromagnete oder Solenoide.

Fig. 213 stellt einen selbstthätigen Regulator dar, bei welchem ein Solenoid E auf einen Eisenkern K einwirkt. Die vielen Windungen eines dünnen Drahtes E sind an die Pole der Maschine anzuschließen.

Der Eisenkern K ist sammt einem darauf befestigten Quecksilbergefäße q durch die Gewichte G und g ausbalancirt. Wird die Spannung an der Maschine größer oder kleiner, so senkt oder hebt sich der Eisenkern K und es wird durch den Quecksilberkontakt automatisch mehr oder weniger Widerstand in den zu regulirenden Stromkreis eingeschaltet.

Solche Automaten werden von Ganz & Co. in Budapest, der Leipziger Elektricitätsgesellschaft und Anderen gebaut.

Weitere selbstthätige Regulatoren.

a) Beim selbstthätigen Regulator von Brush wird der Magnetwiderstand durch einen automatisch zu regulirenden Nebenschlusswiderstand, der erforderlichen Spannung entsprechend, verändert.

b) Die selbstthätige Regulirung durch automatische Verschiebung der Bürsten wurde von Maxim, Elihu Thomson, Hochhausen und Statter durchgeführt.

c) Goolden & Trotter wenden zur Regulirung auf gleiche Stromstärke einen zum Anker parallelen magnetischen Nebenschluss an. Die Kraftlinien treten anstatt durch den Anker mehr oder weniger durch einen magnetischen Nebenschluss (eine Eisenmasse) über.

d) Die Regelung der Betriebsmaschine mittels Regelung der Dampfzuführung durch den elektrischen Strom (Richardson, Willans, Jamieson).

e) Die Regelung durch Abtheilung der Wickelung. Ein Elektromagnet schaltet einzelne Wickelungsabtheilungen automatisch aus und ein (Brush, Cardew, Deprez).

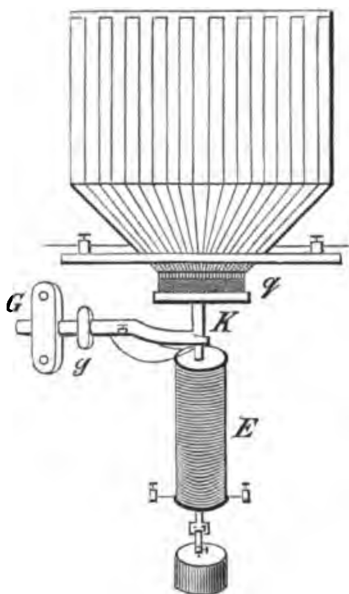


Fig. 213.

f) Die dynamoelektrische Regelung; derselben liegt das Dynamometer zu Grunde, dessen Princip nachfolgend erläutert werden soll.

g) Die Regelung durch gleichmäßigen Dampfdruck auf gleiche Stromstärke. Ein an dem Kessel angebrachter Ampèremesser zeigt dem Heizer stärkere oder schwächere Feuerung an.

137. Die Regelung der Wechselstrommaschinen.

Die Regelung der Stromstärke oder Spannung von Wechselstrommaschinen besorgen:

1. Hand- und selbstthätige Regulatoren (§ 136); bei den Maschinen mit besonderer Erregung werden dieselben in den Erregerstromkreis eingeschaltet.

Die Firma Ganz & Co. in Budapest verwendet zur Regelung kleiner Aenderungen im Hauptstrome den Widerstandsregulator (Automat-Rheostat) System Blàthy, Fig. 214a, welcher die Spannung an den Primärklemmen der Transformatoren gleich erhält. Der Strom für die Regulirungs-Apparate und die Spannungsmesser (Voltmesser)

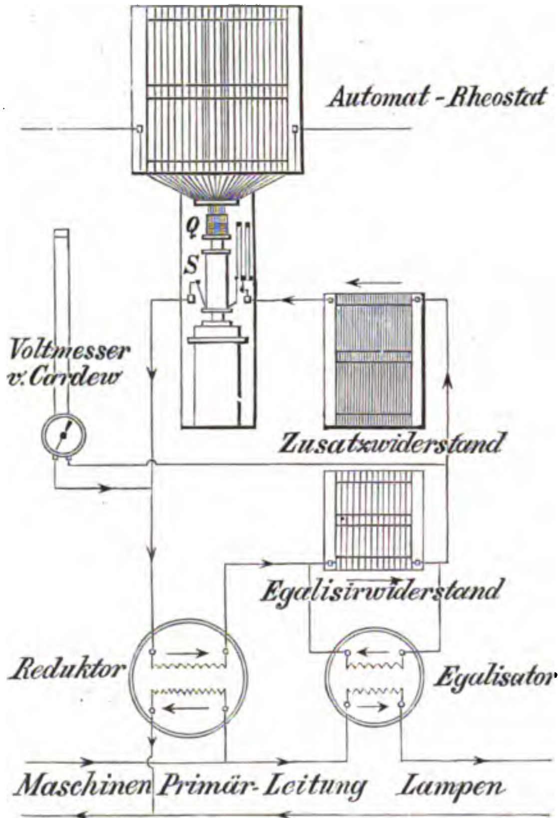


Fig. 214 a.

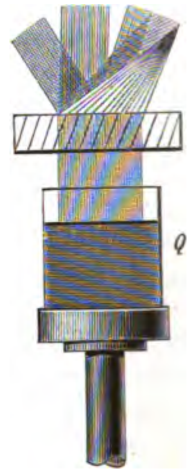


Fig. 214 b.

wird in der Centrale mit Dazwischenschaltung von Transformatoren abgezweigt. Ein Transformator (Egalisator) wird mit seiner sekundären Bewickelung in den Hauptstrom eingeschaltet und überträgt so die Aenderungen desselben.

Der Egalisator hat die Spannung an den Transformatoren

a) zu kontroliren und

b) gleichzuerhalten.

Ein zweiter Transformator (Reduktor) setzt hoch- in niedriggespannte Ströme um.

Fig. 214 b stellt das Quecksilbergefäß *Q* mit den Kontaktstäbchen der letzteren Figur dar. Sobald die Spannung an den Polen des Solenoides *S* steigt, zieht dasselbe den Eisenkern tiefer in seine Höhlung und schaltet den früher durch das Quecksilber kurzgeschlossenen Widerstand ein.

2. Die Anwendung einer veränderlichen Erregung, welche der Erregung durch die gemischte Wickelung von Gleichstrommaschinen ähnlich ist. Die Erregung ist entweder dem Hauptstrome oder dem Widerstande des Stromkreises proportional, je nachdem die Regelung auf gleiche Spannung oder Stromstärke erfolgen soll.

a) Die Methode von Zipernowsky für gleiche Spannung ist in Fig. 215 an einer achtpoligen Innenpolmaschine, deren Anker aus acht feststehenden Spulen besteht, schematisch zur Darstellung gebracht.

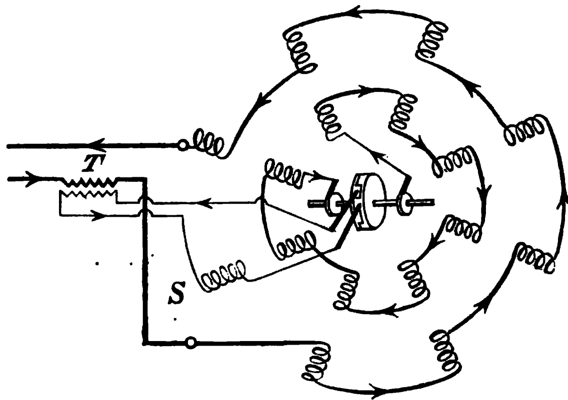


Fig. 215.

Sieben Ankerspulen sind hintereinander geschaltet; der Strom der achten Spule *S* wird mittelst eines auf der Welle der Maschine befestigten Stromwenders den Magnetwickelungen zugeführt und fließt durch einen Transformator *T*, dessen dicke Windungen in den Hauptstrom eingeschaltet sind. Durch den Transformator *T* wird der Erregerstrom von der Stromstärke des äußeren Stromes abhängig gemacht.[1])

b) Die Methode von Kennedy für gleichbleibende Stromstärke beruht auf dem Principe der letzten Methode. Die dünnen Windungen des Transformators bilden einen Nebenschluss zu den Klemmen der Maschine.

IV. Die Zusammenschaltung von Dynamomaschinen.

138. Die Zusammenschaltung ist in den folgenden Schemen nur an zwei Maschinen durchgeführt, weil jede weitere Maschine genau so an die vorhergehende angeschlossen wird, wie die zweite an die erste.

---

[1]) Vergleiche die Regelungsmethode von Schallenberger in Electrical World, X, 1887, S. 60.

139. Hintereinanderschaltung. Die Spannungen hintereinander geschalteter Maschinen addiren sich. Die Pole der Maschinen wechseln in ihrer Aufeinanderfolge (+ — + — u. s. w.).

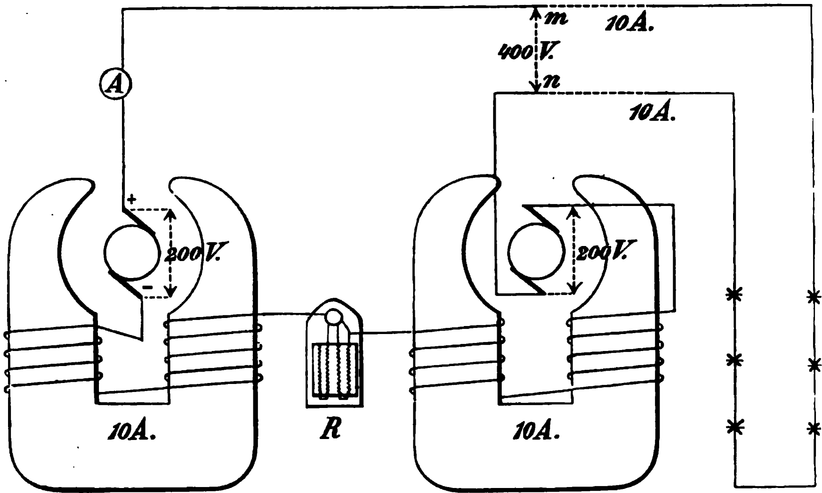


Fig. 216.

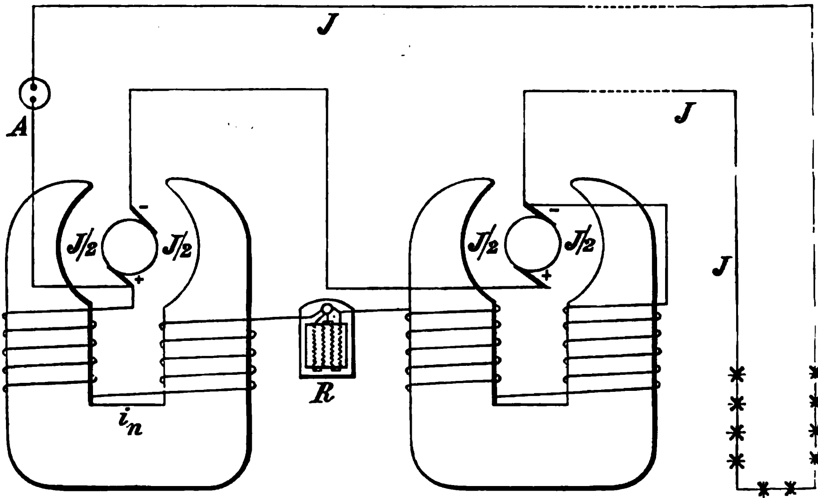


Fig. 217.

a) Reihenmaschinen, Fig. 216, müssen, wenn sie hintereinander geschaltet werden sollen, für dieselbe Stromstärke berechnet sein. Beträgt die Spannung an jeder Maschine 200 Volt, so herrscht zwischen den Punkten *m* und *n* die Gesammtspannung von 400 Volt.

Die Stromstärke muss, da nur ein Stromkreis vorhanden ist, überall dieselbe sein.

b) Nebenschlussmaschinen, Fig. 217.

c) Maschinen mit gemischter Schaltung.

1. Mit kurzem Nebenschlusse, Fig. 218 a.
2. Mit langem Nebenschlusse, Fig. 218 b.
3. Vereinigung der beiden letzten Schaltungen.

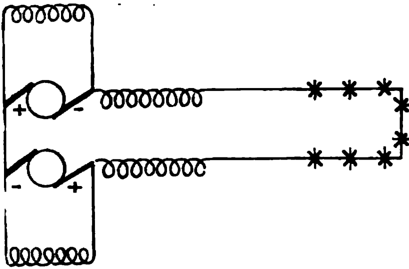


Fig. 218 a.

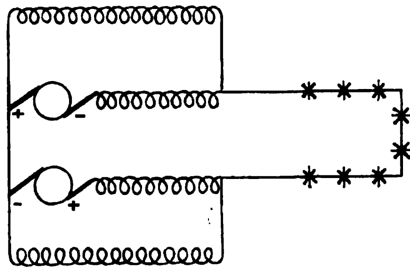


Fig. 218 b.

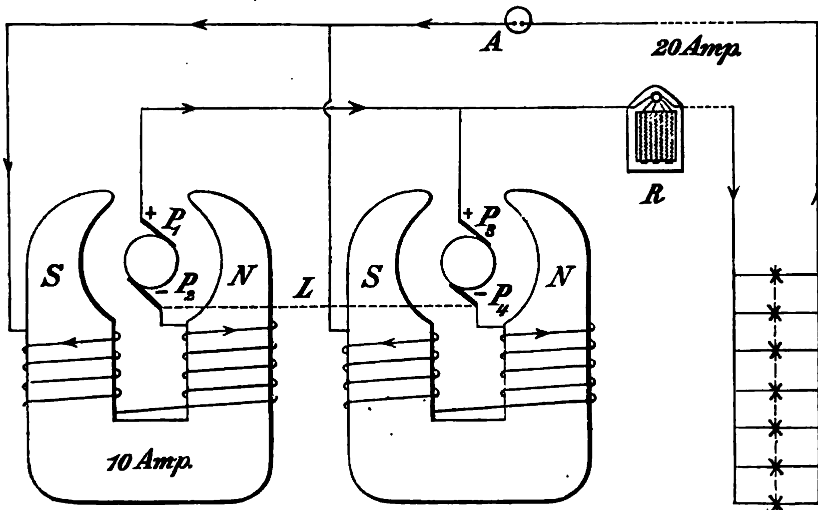


Fig. 219.

140. Nebeneinanderschaltung.

Die Stromstärken parallel geschalteter Maschinen addiren sich. Die einzelnen Maschinen werden mit den gleichen Polen aneinander geschlossen.

a) Nebeneinanderschaltung von Reihenmaschinen, Fig. 219. Parallel geschaltete Reihenmaschinen müssen nach Gramme auch durch die Leitung *L* zwischen den zweiten (positiven oder negativen)

Polen verbunden sein, weil sich sonst durch eine größere Klemmenspannung an der einen Maschine die Pole der anderen Maschine umkehren und die Maschine mit niederer Spannung angetrieben werden kann. Haben die Maschinen genau gleiche Spannung, so herrscht zwischen den Polen P_1 und P_3 und P_2 und P_4 keine Spannungsdifferenz und die Verbindungsleitung L ist stromlos. Bei verschiedenen Spannungen an den Polen wird Strom aus der einen Maschine in die zweite fließen und da jetzt die Richtungen der Ströme in beiden Maschinen übereinstimmen,

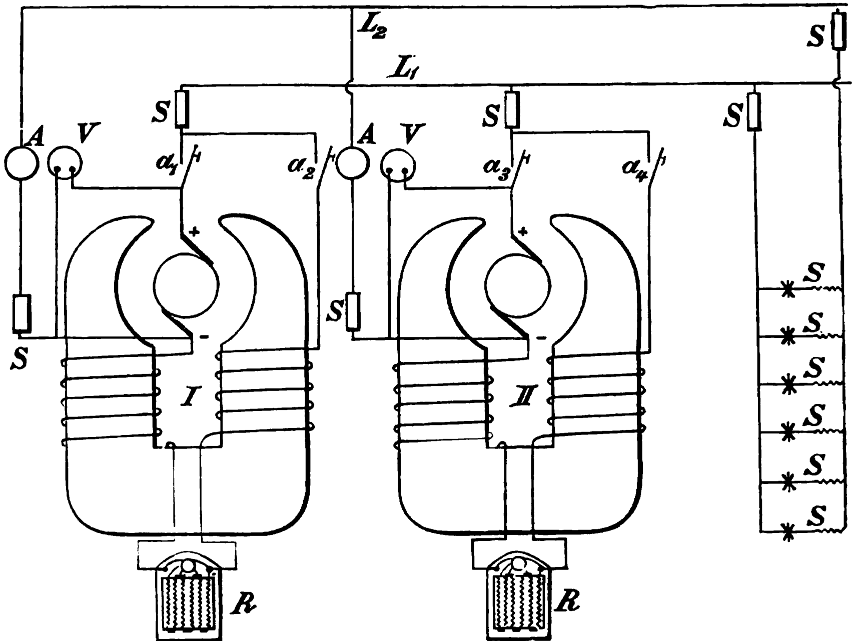


Fig. 220.

wird die Erregung der schwächeren Maschine durch die stärkere verstärkt; eine Umkehrung der Pole ist deshalb bei dieser Schaltungsweise gänzlich ausgeschlossen.

b) Nebeneinanderschaltung von Nebenschlussmaschinen. Sind mehrere Maschinen mit getrennten Leitungsnetzen in großen Beleuchtungsanlagen oder Centralstationen vorhanden, so muss ein sogenannter Generalumschalter im Falle des Versagens einer Maschine eine zweite (gewöhnlich Reservemaschine) in den Stromkreis derselben einschalten. Zweck der Parallelschaltung von Maschinen ist es, diese Umschaltung, sowie die damit verbundene Stromunterbrechung,

zu vermeiden und das Leitungsnetz einfacher zu gestalten. Sollen Nebenschlussmaschinen parallel geschaltet werden, so müssen dieselben die gleiche Spannung haben, denn schon bei ganz geringen Spannungsdifferenzen wird, da sich dieselben gegenseitig tilgen, der Nutzeffekt der Gesammtanlage geschädigt.

Schon bei einer Spannungsdifferenz zweier Maschinen von einigen Volt treibt die eine Maschine die andere an.[1])

Die Nebeneinanderschaltung zweier Nebenschlussmaschinen stellt Fig. 220 übersichtlich dar. Die positiven Pole der Maschinen sind an die Hauptleitung L_1, die negativen an die Hauptleitung L_2 angeschlossen.

Die Magnetwickelungen werden, um durch Außenstrom etwa eintretenden Polwechsel unmöglich zu machen, hinter den Ausschaltern a_1 und a_3 befestigt. Die Ausschalter a_2 und a_4 sind nur dann nothwendig, wenn die Magnetrheostate RR keine eigene Ausschaltung gestatten; die letzteren Rheostate sind entweder einzeln oder durch eine Welle gemeinsam verstellbar eingerichtet.

Sämmtliche Leitungen sind durch die Sicherungen S, S..., welche entweder aus Blei-, Kupfer- oder anderen Drähten bestehen, vor zu hohen Stromstärken geschützt.

Sicherungen sind überall dort anzubringen, wo ein Querschnittwechsel des Leitungsdrahtes stattfindet.

Die Ampèremesser A A zeigen die Belastung der Maschinen an. Gibt bei einer Glühlichtanlage (Glühlampen zu 100 Volt, 16 Normalkerzen und 0·5 Ampère vorausgesetzt) der Ampèremesser 20 Ampère an, so sind $\frac{20}{0{\cdot}5} = 40$ Glühlampen eingeschaltet; besteht die Anlage aus Bogenlampen zu 10 Ampère, so entsprechen einer Angabe des Ampèremessers von 100 Ampère, $\frac{100}{10} = 10$ Bogenlampen. Die Anzahl der Voltmesser soll, da gleiche Spannung bei der Parallelschaltung maßgebend ist, so groß sein, als die Anzahl der Maschinen; anderenfalls muss die in der nächsten Figur angewendete Voltmesserschaltung, die sich auf beliebig viele Maschinen ausdehnen lässt, vorgenommen werden.

Die Inbetriebsetzung. Sollen sämmtliche Maschinen gleichzeitig in Thätigkeit treten, so sind die Ausschalter a_1, a_2, a_3, a_4 zu schließen und die Voltmesser durch die Magnetrheostate auf die normale Spannung gleichmäßig einzustellen. Kann das Nachschalten der Maschinen nacheinander erfolgen, so ist die durch den Hauptschalter

[1]) **Wilhelm Peukert, Centralblatt für Elektrotechnik, 1887, S. 174.**

nachzuschaltende Maschine vorerst auf die normale Spannung (Betriebsspannung) zu bringen. Da die Spannungen der Dynamo von den Tourenzahlen derselben abhängen, wird deren Regelung am besten durch den Antrieb von einer gemeinsamen Welle aus erreicht. Besorgen mehrere Motoren den Antrieb von verschiedenen Wellen aus, so kann die Regelung auf gleiche Spannung an den letzteren vorgenommen werden. Für die empfindliche Regulirung ist der Magnetrheostat unentbehrlich.

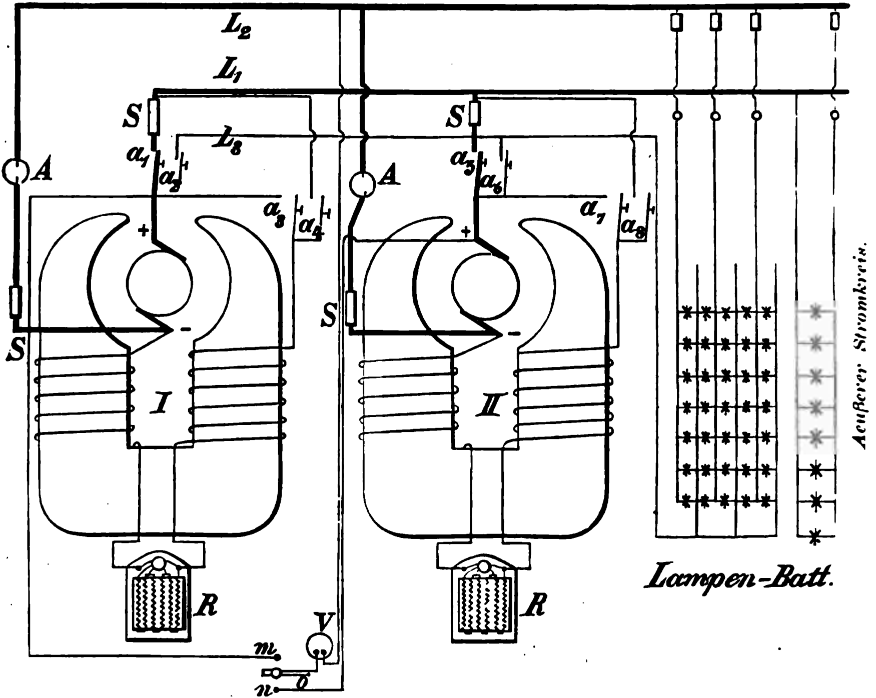


Fig. 221.

Das Abstellen geschieht entweder an allen Maschinen gleichzeitig und zwar bei Glühlichtanlagen, soll nicht starke Funkenbildung am Hauptausschalter eintreten, durch gleichzeitiges Ausschalten sämmtlicher Magnetrheostate oder bei Bogenlichtlampen, zur Vermeidung des Zuckens im Lichtbogen der Lampen, des Aufsitzens (Kurzschließens) der Kohlen und von Störungen im Mechanismus derselben, durch Ausschalten sämmtlicher Hauptausschalter.

Fig. 221 veranschaulicht das Schema parallel geschalteter Nebenschlussmaschinen bei Anwendung einer sogenannten Lampenbatterie und eines mit einem Umschalter versehenen Voltmessers.

Die Lampenbatterie, welche aus einer der Leistung der Maschinen entsprechenden Anzahl von Glühlampen besteht, kann durch irgend einen Widerstand ersetzt werden. Soll z. B. die zweite Maschine an die Hauptleitung L_1 und L_2 mittelst des Hauptausschalters a_5 angeschlossen werden, so bringt man dieselbe zuerst durch die Lampenbatterie (Schalter a_6 und a_8) auf die Leistung der anderen Maschinen, schaltet dann bei a_6 aus und bei a_5 und a_7 gleichzeitig ein.

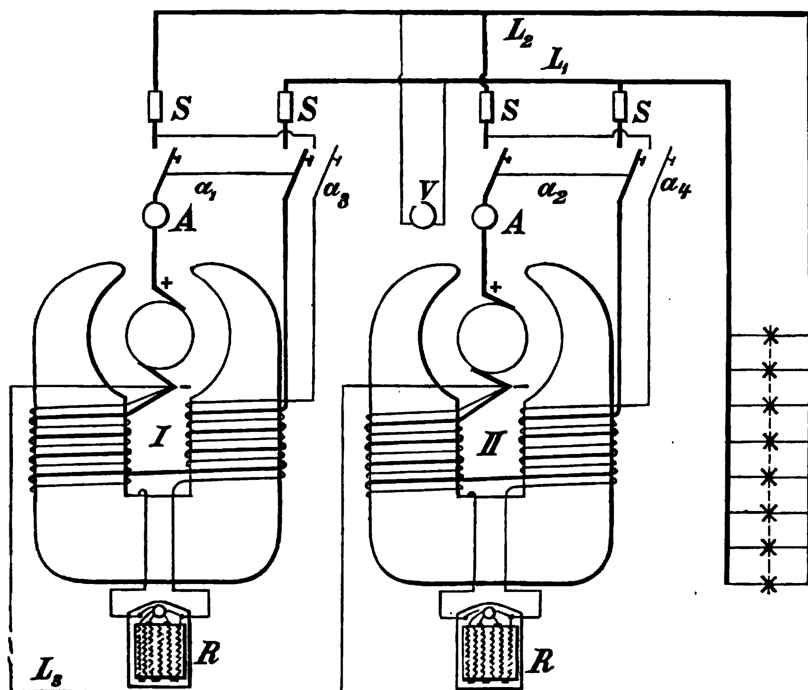


Fig. 222 a.

c) Nebeneinanderschaltung von Maschinen mit gemischter Wickelung. Bei den Maschinen mit gemischter Wickelung fließt der Außenstrom durch die Magnetschenkel und nimmt auf die Regulirung des magnetischen Feldes einen großen Einfluss; wird der Außenstrom größer, so steigt die Spannung der Maschine und der Strom derselben fließt jetzt nicht nur durch den äußeren Stromkreis, sondern auch durch die mit demselben verbundenen Maschinen. M. Mordey und Ledeboer schalten zur Beseitigung dieses Uebelstandes zwischen je zwei Maschinen, Fig. 222 a und Fig. 222 b, eine Ausgleichsleitung L_3 ein, deren Querschnitt mit $^1/_{10}$ der Stromstärke der größten

Maschine bemessen wird. Die Ausschalter a_1 und a_2 sind zweipolig (bipolar), so dass die von der Maschine ausgehenden Hauptleitungen gleichzeitig eingeschaltet werden können. Für den Betrieb und die Schaltung der Apparate gelten die unter b) angeführten Vorschriften. Sind die Ausschalter a_1 und a_2 in unmittelbarer Nähe der Maschine aufmontirt, so wendet man die in Fig. 222 b dargestellte Schaltung an, weil man sonst von jeder Maschine eine Leitung zum Schalt-

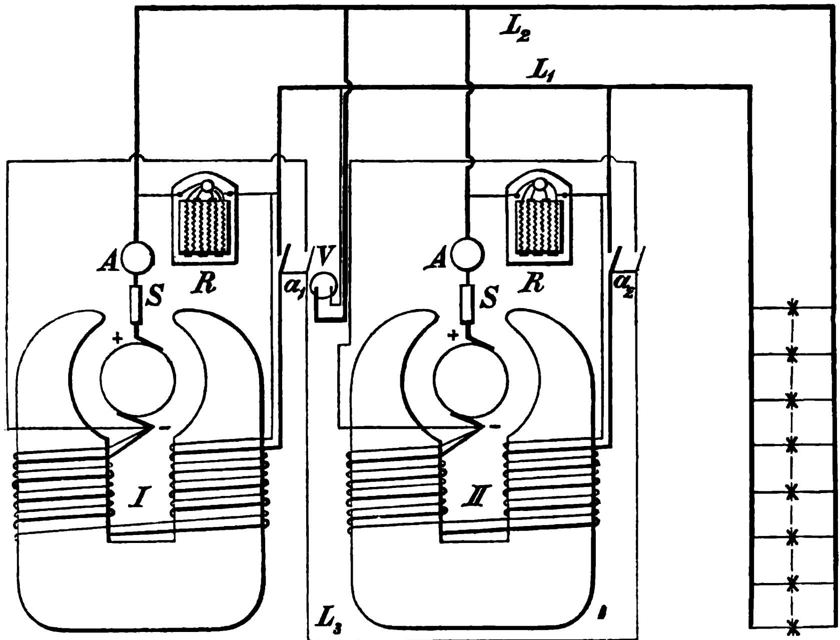


Fig. 222 b.

brette, dagegen in Fig. 222 b nur einen Draht von jeder Maschine zu den Rheostaten *R R* zu führen hat. Da in dieser Figur die Ausschalter für den Nebenschluss fehlen (a_3 und a_4, Fig. 222 a), müssen die Magnetrheostate selbst ausschaltbar sein.

Wenn bei der in den Schemen, Fig. 222 a und 222 b, angegebenen Schaltung, unter Voraussetzung gleich großer Maschinen und gleicher Tourenzahlen, die Stromstärken in den Magnetwickelungen dieselben sind, müssen die Spannungen und Leistungen der Maschinen gleich sein. Wird dann die Tourenzahl der einen Maschine kleiner, so hat dieselbe weniger Arbeit zu leisten, und lauft rascher, während die zweite Maschine einen langsameren Gang annimmt, bis sich an beiden Maschinen

die gleiche Spannung einstellt. Dieselbe Regelung findet auch bei Maschinen von verschiedener Größe und ungleichen Tourenzahlen statt; in letzterem Falle müssen sich die Widerstände der dicken Windungen umgekehrt wie die Stromstärken der Maschinen verhalten.

141. Zusammenschaltung von Wechselstrommaschinen. Die grundlegenden Theorien dieser Schaltungsart hat Wilde (1869) veröffentlicht und Hopkinson (1883) neu bearbeitet. Wechselstrommaschinen können nur dann hintereinander geschaltet werden, wenn sie miteinander direkt gekuppelt sind. Für die Nebeneinanderschaltung derselben gelten folgende Bedingungen:

1. Die Anzahl der Polwechsel der beiden Maschinen müssen einander gleich oder die Anzahl der Polwechsel der einen Maschine muss einige wenige male so groß sein, als die Anzahl der Polwechsel der zweiten Maschine. Praktische Verwendung hat bisher nur der erste Fall gefunden.

2. Die größte Spannung an jeder Maschine muss genau zu derselben Zeit erreicht werden, d. h. die Maschinen müssen gleiche Phasen haben.

In der Wiener Centralstation der „Internationalen Elektricitätsgesellschaft“[1]) wird die neu hinzuzuschaltende Maschine auf die Ersatzrheostate geschaltet und durch den Erregerstrom auf gleiche Spannung mit den im Betriebe befindlichen Maschinen eingestellt. Die Phasengleichheit wird durch Regelung an dem Ersatzrheostate erzielt und

a) an Lampengruppen (Phasenindikatoren), welche sowohl dem Stromkreise der Betriebsmaschinen, als auch der zuzuschaltenden Maschine angehören und anfangs in kurzen, später in längeren Zwischenräumen (Intervallen) aufleuchten und wieder verlöschen,

b) an dem „Summen“ der Maschinen, das mit einer Tonhöhe, deren Schwingungszahl der Polwechselanzahl gleich ist, erfolgt, erkannt.

Sämmtliche Zusammenschaltungen von Dynamomaschinen sind für zwei- und mehrpolige Maschinen verwendbar.

V. Untersuchung der Dynamomaschinen und Motoren.

142. Die wichtigsten Hilfsapparate.

1. Das Galvanometer (Seite 22, Fig. 21).

2. Das Läutewerk (Seite 24, Fig. 26).

---

[1]) Zeitschrift für Elektrotechnik, 1891, S. 129.

3. **Isolationsprüfer** besteht aus einer magnetelektrischen Maschine *M*, Fig. 223 a, und einer Wechselstromklingel, Fig. 223 a und Fig. 223 b.

Die magnetelektrische Maschine *M*, Fig. 223 a, wird durch die Kurbel *C* und die Räderübersetzung *Rr* angetrieben; der so erzeugte Wechselstrom durchfließt die Windungen der Elektromagnete E_1 und E_2. Bei der in Fig. 223 b durch die Pfeile angegebenen Richtung des

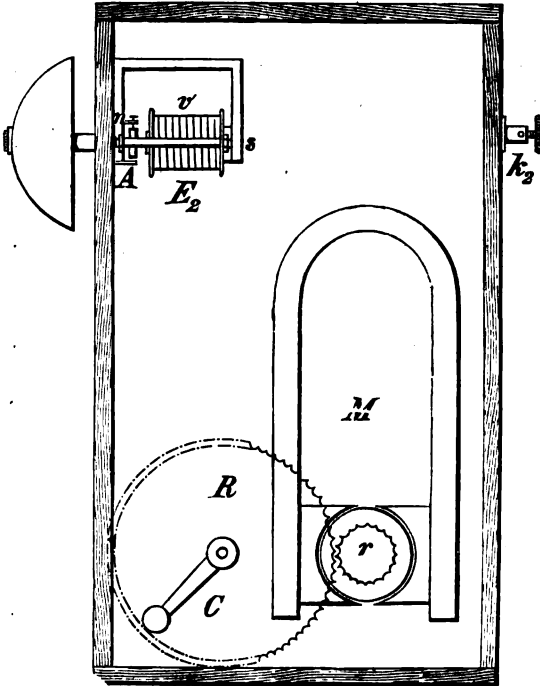


Fig. 223 a.

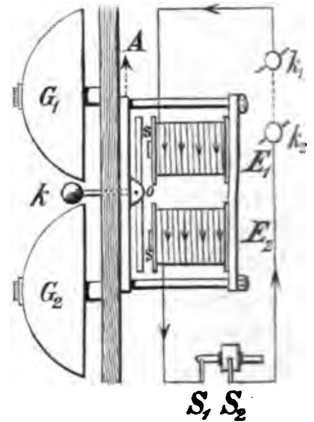


Fig. 223 b.

Wechselstromes entstehen an den Enden *ss* der Elektromagnete E_1 und E_2 Südpole. Ueber den Elektromagneten E_1 und E_2, beziehungsweise dessen Polen *n s*, befindet sich ein Stahlmagnet als Anker. Die gegenseitige Lage der Pole des Ankers und der Elektromagnete E_1 und E_2 sind durch 2 Fälle erschöpft:

a) Dem Pole *s* des Elektromagnetes E_1 liegt der Nordpol des Ankers gegenüber (Anziehung). Dann müssen auch der Pol *s* des Elektromagnetes E_2 und der Südpol des Ankers einander gegenüberstehen (Abstoßung).

b) Dem Pole *s* des Elektromagnetes E_1 befindet sich der Südpol des Ankers gegenüber (Abstoßung), dann muss dem Pole *s* des Elektromagneten E_2 der Nordpol des Ankers gegenüber liegen (Anziehung).

In beiden Fällen werden sich, da der Anker um den Punkt *O* drehbar ist, die beiden Bewegungen unterstützen. Wechselt der Strom seine Richtung, so treten die entgegengesetzten Wirkungen ein. Mit dem Anker ist die Kugel *k* fest verbunden, welche gegen die Glocken G_1 und G_2 schlägt. Die Stromabnahme erfolgt gewöhnlich

a) an der isolirten Welle durch einen Schleifkontakt S_1, Fig. 223 b, (1. Wechselpol) und

b) durch einen isolirten Ring S_2, Fig. 223 b, oder es bildet der Metallkörper der Maschine den zweiten Pol (2. Wechselpol).

Als Wechselstromklingel kann auch ein sogenanntes polarisirtes Relais (Siemens & Halske) Verwendung finden. Dann ist nicht blos der Anker, sondern der Theil *n s A*, Fig. 223 a, ein Stahlmagnet mit den Polen *n* und *s*. Der Anker wird nordmagnetisch, während die Eisenkerne des Elektromagnetes Südpole anzeigen.

Fließt kein Strom durch die Windungen des Elektromagnetes, dann müssen die Südpole desselben den nordmagnetischen Anker im Gleichgewichte erhalten, so zwar, dass der Anker in Ruhe verbleibt. Es sind nun 2 Fälle zu unterscheiden:

a) Schickt man den Wechselstrom so durch die Windungen des Elektromagnetes, dass die beiden gegen den Anker *A* gerichteten Enden seiner Kerne entgegengesetzte Pole annehmen, dann zieht ein Kern den Anker an, der andere stößt ihn ab und die Kugel *k*, Fig. 223 b, schlägt gegen eine der Glockenschalen G_1 oder G_2; wechselt der Strom in den Windungen des Elektromagnetes seine Richtung, dann tritt eine Bewegung der Kugel gegen die andere der Glockenschalen G_2 oder G_1 ein.

b) Der Wechselstrom magnetisirt beide Kerne gleichnamig. Dann wird der Stahl-Südmagnetismus in einem Kerne geschwächt, in dem anderen verstärkt, so zwar, dass mit wechselnder Stromrichtung eine hin- und hergehende Bewegung des Ankers eintritt.

4. Die wissenschaftlichen und industriellen Galvanometer (Siehe II. Abschnitt).

5. Die Drahtlehre (Mikrometerlehre), Fig. 224, wird zum Messen der Drahtdurchmesser verwendet. Eine ganze Umdrehung der Schraube *S* ändert die Entfernung zwischen *a* und *b* um 1 *mm*. Die Millimeter werden auf der horizontalen, die Zehntelmillimeter (Decimalen) auf der Kreistheilung bei *c* abgelesen.

6. Die Schublehre, Fig. 225, ermöglicht die Messung der Außen- und Innendurchmesser von Drähten, Bohrungen u. s. w. Die Millimeter gibt bei Außendurchmessern der Hauptmaßstab *m*, die Zehntelmillimeter derjenige Theilstrich des Nonius *n*, welcher mit einem Theilstriche des Hauptmaßstabes übereinstimmt, an. Bei Innendurchmessern sind die Längen *a* und *b* zur Ablesung zu addiren.

7. Die Umdrehungszähler, Figuren 226, 227 und 228, dienen zum Messen der Umdrehungszahlen rotirender Wellen. Die genannten 3 Zähler werden durch Drücken der Enden *a* (in Fig. 228 der

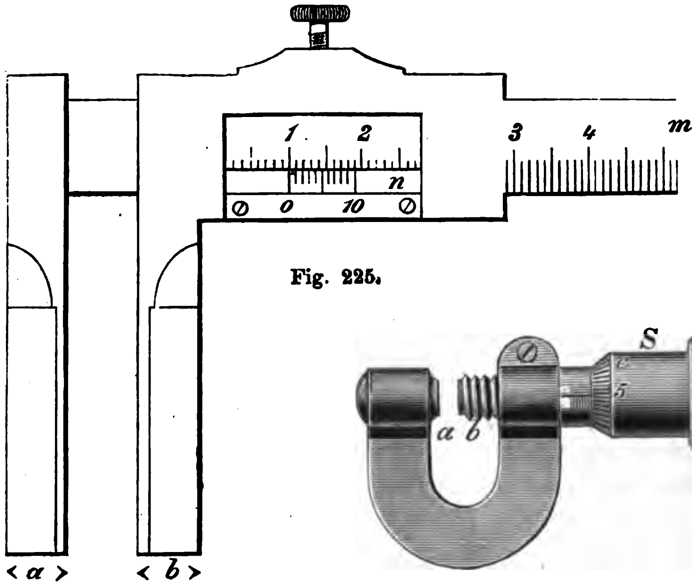


Fig. 225.

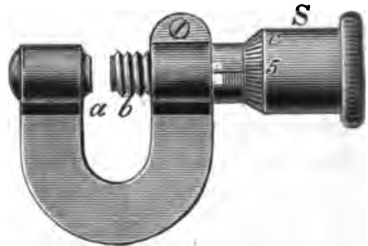


Fig. 224.

Enden a_1 oder a_2) gegen den Körnerpunkt der Welle in Thätigkeit gesetzt. Eine Uhr bestimmt die Zeit, binnen welcher die Umdrehungen erfolgen.

Die mittelst des Zählers, Fig. 226, zu messende Umdrehungszahl sei gleich 1000. Das Zahnrad R_1 macht eine Umdrehung bei 100 Umdrehungen der Welle A, folglich beträgt die Anzahl der Umdrehungen desselben bei 1000 Umdrehungen der Welle A (sowie der Welle der zu messenden Maschine) $1000 : 100 = 10$. Mit dem Rade R_1 ist das Rad R_3 (mit 10 Zähnen), welches in das Rad R_2 (mit 100 Zähnen) eingreift, fest verbunden. Macht das Rad R_1 (also auch R_3) 10 Umdrehungen, so dreht sich das Rad R_2 einmal herum. Bei der obigen

Annahme (1000 Maschinenumdrehungen) macht demnach das Rad R_1 eine Umdrehung. Daraus folgt, dass die Angaben des Rades R_2 mit 1000 zu multlpliciren sind. Werden die beiden Theilungen vor dem Gebrauche des Zählers durch das Drücken der Feder F und Drehen der Räder R_1 und R_2 so eingestellt, dass die Zeiger Z_1 und Z_2 auf 0

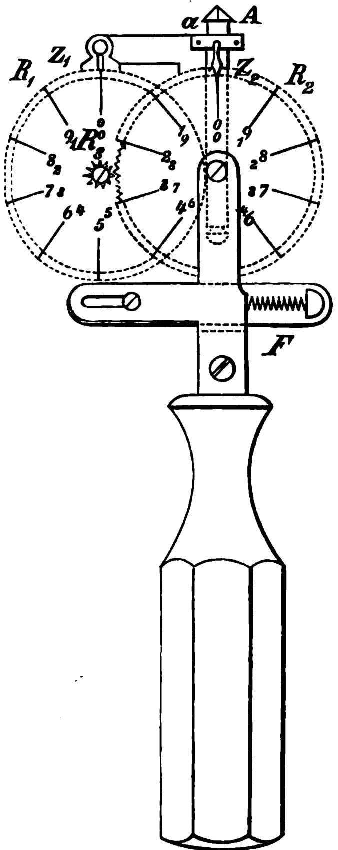


Fig. 226.



Fig. 227.

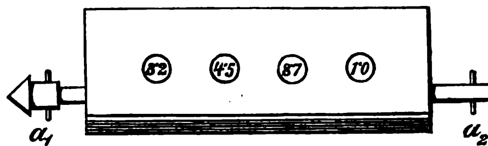


Fig. 228.

einstehen, so geben die Theilstriche des Rades R_1 die Zehner an. Je nachdem die Maschinen Rechts- oder Linkslauf haben, sind die Ablesungen an der inneren oder äußeren concentrischen Zifferreihe vorzunehmen.

8. Der Umdrehungszähler, Fig. 227. Einer Umdrehung der Welle entspricht ein Theilstrich der größeren, 100 Umdrehungen der Welle ein Theilstrich der kleineren Theilung.

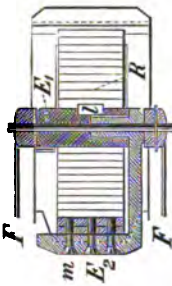


Fig. 229 d.



Fig. 229 b.

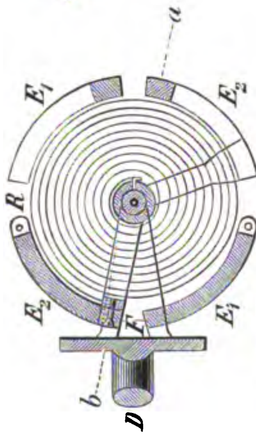


Fig. 229 c.

Fig. 229 a.

9. Der Umdrehungszähler, Fig. 228, wird mit a_1 oder a_2 an die Maschine angelegt, je nachdem dieselbe Rechts- oder Linkslauf hat.

Die Zeitdauer der Messungen bei den gewöhnlichen Umdrehungszählern beträgt zumeist 1 Minute (Umdrehungen in der Minute) oder $^1/_2$ Minute; in letzterem Falle ist die Ablesung mit 2 zu multipliciren, wenn die Umdrehungszahl in 1 Minute gemessen werden soll.

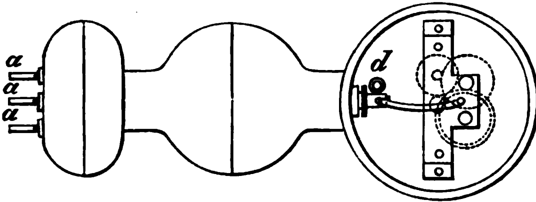


Fig. 230 a.



Fig. 230 b.

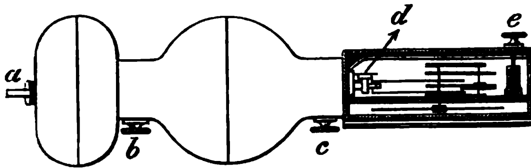


Fig. 230 c.

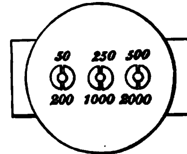


Fig. 230 d.



Fig. 230 e.

10. Das Patent-Tachometer von Buss, Sombart & Co. in Magdeburg, Friedrichstadt ist ein Instrument, welches im Gegensatze zu den letzten Umdrehungszählern die Umdrehungen von Wellen in der Minute in jedem Augenblicke, ohne Zuhilfenahme einer Uhr, angibt.

Die genannte Firma baut:

a) Das Tachometer für Riemenübertragung.[1]) In ihrer Aufeinanderfolge sind die wichtigsten Bestandtheile dieses in den Figuren

[1]) Buss, Sombart & Co., D. R.-P. Nr. 1035 vom 1. November 1877; Vgl. M. Schröter in Offic. Bericht über die Münchener Elektricitätsausstellung, 1882, II. Theil, Seite 7.

229a bis 229d dargestellten Tachometers die folgenden: Die Welle *D* mit dem Pendelträger *F* und den Pendeln E_1 und E_2. Das Pendel E_2 zeigt Fig. 229b perspektivisch, in Fig. 229c ist die Spiralfeder *R* (Fig. 229a) abgebildet. Die Fig. 229c zeigt die Windungen der Spiralfeder *R* im Schnitte, Fig. 229d die Befestigung der Enden derselben an die Nabe des Pendels E_1 und an den Umfang von E_2 (bei *m*). Die Uebertragung der Geschwindigkeitsänderungen der Pendel auf den Zeiger *Z* besorgen die Welle *G*, die gabelförmige Schiene *H* und die Zahnräder *a* und a_1. Der Zeiger *Z* gibt auf einem Zifferblatte die Anzahl der Umdrehungen der Welle in der Minute an; derselbe wird durch eine Spiralfeder in der Ruhe auf Null eingestellt und durch einen, von Zahnrädern angetriebenen Windflügel vor plötzlichen Stößen geschützt. Zur bequemen Ablesung kann man das Gehäuse *C* durch Lösen der Schraube *i* drehen. Die Stufenscheibe *B* (Verhältnis der Durchmesser 1 : 2) ist mit der Welle *D* gekuppelt. Die Feder *K* soll seitliche Verschiebungen der Riemenscheibe verhindern.

Das Schmieren des Tachometers erfolgt bei *h* und mittelst des Oelers *c*. Von *c* gelangt das Oel in die Mulde c_1, welche mit dem Schieber *G* fest verbunden ist.

b) Das Handtachometer, Figuren 230a bis 230e, hat im Wesentlichen dieselbe Einrichtung wie das letzte Instrument. Für die Behandlung und Benützung desselben gilt die folgende Vorschrift:

1. Die Behandlung.

Kein Theil des Tachometers, mit Ausnahme des Deckels, welcher die Rückseite des Zifferblattgehäuses verschließt, darf geöffnet werden. Dieser letztere kann durch das Lösen der Schraube *e*, Fig. 230c. abgehoben werden. Alle zu schmierenden Theile dürfen stets nur feinstes, nicht harzendes Oel enthalten. Für jeden ersten Gebrauch des Tachometers an einem Tage ist dasselbe an den, durch die Schrauben *b* und *c* verschlossenen, Schmierlöchern zu schmieren. Bei häufiger Benützung an demselben Tage muss dies mehrmals und zwar ½- bis 1-stündlich wiederholt werden.

Das im Innern des Zifferblattgehäuses befindliche kleine Schmiergefäß *d* ist, nachdem sein mit Bajonettverschluss versehener Deckel behutsam abgenommen wurde, mit feinstem Oele zu füllen. Die kleinen Getriebe des Uhrwerkes sind ganz wenig zu ölen.

2. Die Benützung.

An dem einen Ende des Tachometers befinden sich drei Getriebe *a*, von denen jedes für diejenigen Geschwindigkeiten bestimmt ist, welche

dabei eingravirt sind (50—200, 250—1000, 500—2000 Umdrehungen).[1]) Bei Benützung des Instrumentes ist der Dreispitz, Fig. 230 b, auf das jenige Getriebe zu stecken, innerhalb dessen Umdrehungszahlen die muthmaßliche Geschwindigkeit der Maschine fällt, deren Umdrehungen angezeigt werden sollen. Beim Gebrauche des Instrumentes verwende man stets beide Hände in der aus der Abbildung, Fig. 230 e, ersichtlichen Weise.

c) Der Patenttachograph ist ein Tachometer, welches mit einer Registrirvorrichtung (Vorrichtung zum selbstthätigen Wiedergeben der während der Thätigkeit des Instrumentes herrschenden Umdrehungszahlen) versehen ist. Die Prüfung der Angaben der Patenttachometer kann mit einem gewöhnlichen Umdrehungszähler an einer Welle mit gleichbleibenden Umdrehungszahlen vorgenommen werden. Vielfache Verwendung finden auch die elektrischen Tourenzähler von Horn.

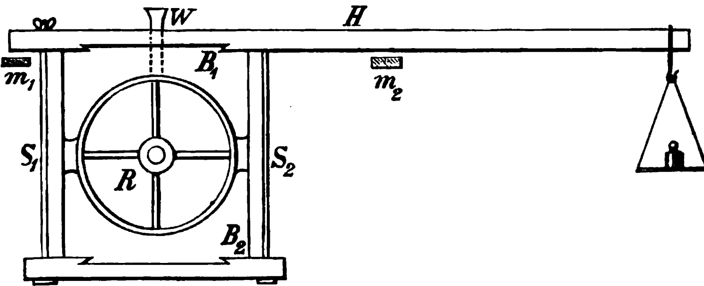


Fig. 231.

11. Der Prony'sche Zaum, Fig. 231, auch Bremsdynamometer genannt, misst die elektrische Arbeit einer Kraftmaschine (die von einem Motor erzeugte mechanische Arbeit), ohne dass dieselbe eine andere Maschine (Arbeitsmaschine) antreibt. Dieses Dynamometer besteht aus den Bremsklötzen (Bremsbacken) B_1 B_2, welche durch die Schrauben S_1 und S_2 an die Riemenscheibe (beziehungsweise Welle) R der zu prüfenden Maschine angelegt werden und dem Bremshebel H, an dessen Ende eine Wagschale angebracht ist.

Die Böcke m_1 und m_2 verhindern das Mitnehmen des Zaumes von der Welle der Maschine.

Durch die Reibung der Riemenscheibe an den Backen wird sämmtliche Arbeit der Kraftmaschine verbraucht. Den Backen muss zur Vermeidung von zu starker Erwärmung bei W Wasser (Seifenwasser) zugeführt werden.

[1]) Die Tourenzahlen von 200 bis 250 zeigt diese Theilung nicht an.

12. Der Arbeitsmesser (das Dynamometer) von F. von Hefner-Alteneck[1]), Fig. 232 und 233, dient zum Messen des Kraftverbrauches einer Arbeitsmaschine und wird direkt in den Riemen, welcher die Kraft- mit der Arbeitsmaschine verbindet, eingeschaltet. Das Dynamometer zählt 6 Rollen 1, 2, 3, 4, 5 und 6, Fig. 232, welche an einem Rahmen befestigt sind; eine siebente Rolle 7, Fig. 232, trägt einen um die Achse der Rolle drehbaren Hebel. Ein Gegengewicht gleicht die Gewichte der Rolle 7 und des Hebels, sowie eine, dem Ruhezustande entsprechende, mäßige Spannung einer Feder aus, so dass der Zeiger auf der Marke einsteht und die Rolle 7 ihre Mittelstellung einnimmt. Eine Flüssigkeits- (Glycerin-) Bremse und die Feder dienen zur Dämpfung der Schwankungen. Ist der obere Theil des Riemens der treibende, so wird durch die Spannungsdifferenz zwischen dem treibenden und leerlaufenden Theile des Riemens die Rolle 7 herabgedrückt und durch das Spannen der Feder der Zeiger auf die Marke eingestellt.

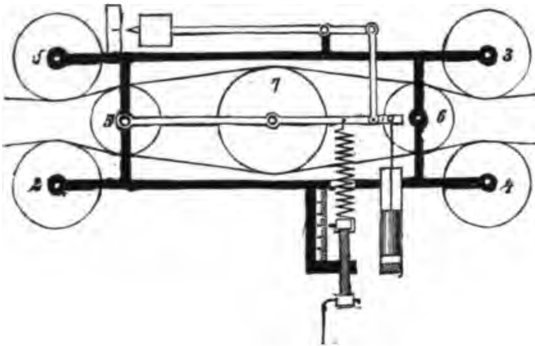
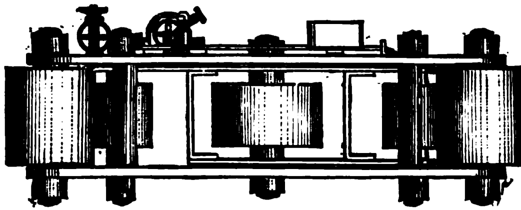


Fig. 232.


Fig. 233.

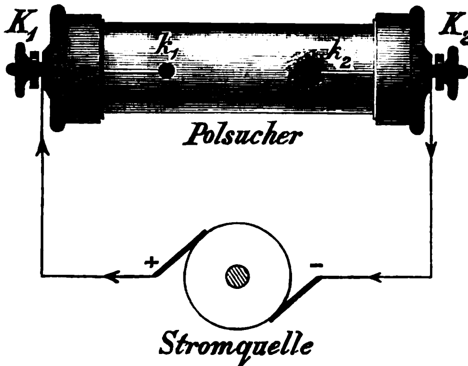


Fig. 234.

Die Skala gibt den Druck in Kilogramm an (gewöhnlich ist 1 *mm* Verschiebung an der Skala gleich 1 *kg*).

---

[1]) F. v. Hefner-Alteneck, Elektrot. Zeitschrift, 1881, S. 229.

13. Der Polsucher von Berghausen, Fig. 234, bestimmt, sowie der Polsucher von Woodhouse und Rawson, die Pole der Stromquellen durch Anlegen derselben an die Klemmen K_1 und K_2. Die Pole k_1 und k_2 sind mit den Klemmen K_1 beziehungsweise K_2 leitend verbunden. Bei stärkeren Strömen zeigt die, den negativen Pol des Polsuchers k_2 umgebende, Flüssigkeit sofort, bei ganz schwachen Strömen nach einigen Minuten eine intensiv rothe Färbung. Die Flüssigkeit besteht aus einem Alkalisalz und etwas Phenolphtalein. Wird diese Flüssigkeit vom Strome durchflossen, so tritt Elektrolyse ein. Das am negativen Pole frei werdende Alkali bildet mit dem Phenolphtalein einen rothen Niederschlag.

143. Stromrichtungs- und Polbestimmungen. Die wichtigsten Hilfsmittel zur Bestimmung der Stromrichtung in Leitungen und Bezeichnung der Pole von Stromquellen (Dynamomaschinen, Elementen u. s. w.), Akkumulatoren, Transformatoren, elektrischen Lampen, Instrumenten, Apparaten, Automaten, Elektricitätszählern u. s. w. sind:

a) Die Ampère'sche Regel (Seite 21). Da Magnetnadeln in der Nähe von Dynamomaschinen leicht umpolarisirt werden, sind dieselben vor dem Gebrauche auf ihre Polarität zu prüfen. Der Nordpol einer Magnetnadel muss nach der nördlichen, der Südpol derselben nach der südlichen Himmelsrichtung zeigen.

b) Das Wasser oder besser verdünnte Schwefelsäure (Verhältnis der Verdünnung 1 : 10). Taucht man die Pole der Stromquelle in Wasser oder verdünnte Schwefelsäure, so findet am negativen Pole Gasentwicklung statt, während am positiven Pole Kupferoxyd in Form von schwarzen Flocken ausgefällt wird.

c) Mit Jodkaliumlösung getränktes Papier zeigt, wenn es befeuchtet mit den Polen einer Stromquelle in Verbindung tritt, am positiven Pole einen schwarzen Fleck. Je näher die beiden Berührungspunkte der Pole auf dem Papiere liegen, desto rascher und deutlicher zeigt sich die Färbung.

d) Das sogenannte Polreagenzpapier erhält, wenn es befeuchtet an die Pole einer Stromquelle angelegt wird, am negativen Pole eine rothe Färbung. Bezüglich der Entfernung der Berührungspunkte gilt das unter *c)* Gesagte.

e) Der Polsucher von Berghausen (Seiten 176 und 197).

Die Bezeichnung der Pole von Stromquellen, Lampen, elektrischen Instrumenten, Apparaten u. s. w. erfolgt durch die Zeichen + (plus) und — (minus). Der positive Pol der elektrischen Lampe, des Apparates oder Instrumentes wird mit dem positiven, der negative Pol derselben

mit dem negativen Pole der Stromquelle verbunden. Der Anschluss der Akkumulatoren an eine Stromquelle (Dynamomaschine) erfolgt ebenfalls an denselben Polen.

f) Die Richtung des magnetischen Stromes gibt die Südnordrichtung einer in unmittelbarer Nähe desselben befindlichen Magnetnadel, wenn dieselbe allseitig frei beweglich ist, an.

144. Die Untersuchung der Isolation elektrischer Maschinen zerfällt:

1. In die Untersuchung der Isolation des Kupfers der Maschinen gegen das Eisen derselben.

a) Isolation des Gesammtkupfers der Maschine gegen das Eisen, Fig. 235; diese Untersuchung geschieht im stromlosen Zustande mittelst des Universal-, Spiegel-Galvanometers, Läutewerkes (Seite 24, Fig. 26), Isolationsprüfers (Seite 188 Fig. 223 a und 223 b), während der Stromerzeugung durch Galvanometer z. B. Torsionsgalvanometer (Seite 81, Fig. 82), Spiegelgalvanometer u. s. w. oder, bei Betriebsspannungen bis zu 100 Volt, durch Anlegen eines Drahtendes (oder einer Hand) an den einen Pol der Maschine und augenblickliches Berühren des Eisens derselben mit dem zweiten Drahtende (oder der zweiten Hand) bei ausgeschalteter Außenleitung. Die Isolation ist gut, wenn sich keine oder bei sehr hohen Betriebsspannungen ganz kleine Funken zeigen (kein oder ein ganz geringer Strom durch den Körper fließt). Da bei den Versuchen mit Probedrähten leicht ein Abschmelzen derselben oder ein längerer Kurzschluss der Maschine eintreten kann, empfiehlt es sich, anstatt des Drahtes eine der Maschinenspannung entsprechende Glühlampe einerseits direkt an einen Pol der Maschine und andererseits an das Eisen derselben anzuschließen. Je nachdem die Lampe nicht, dunkel (mit geringer Spannung) oder hell (mit voller Spannung) brennt, ist die Isolation zwischen dem Eisen und Kupfer der Maschine vollkommen, mangelhaft oder gar nicht vorhanden (kurzer Schluss).

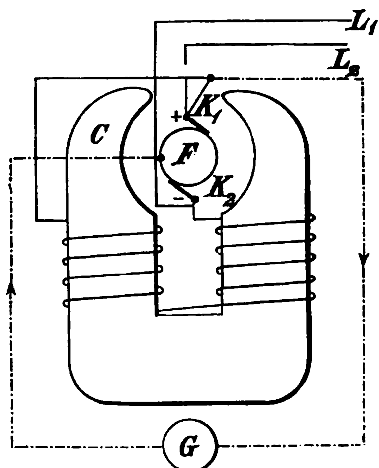


Fig. 235.

Die praktische Ausführung dieser Versuche zeigt Fig. 235. In dieser Figur bedeuten K_1 und K_2 die Pole der Dynamo-

maschine; an denselben sollen die Außenleitungen L_1 L_2 ausgeschaltet sein. In der Figur erscheint blos die Hinleitung L_2 ausgeschaltet. Der Zuleitungsdraht zum Galvanometer G wird an die Klemme K_1 (positiver Pol) der Maschine und an einen durch Schaben oder Feilen an irgend einer Stelle des Eisenkörpers der Maschine metallisch rein hergestellten Kontakt z. B. bei C angelegt. Zwischen K_1 und C kann man sich statt des Galvanometers ein Läutewerk, einen Induktionsapparat, einen Probedraht, den menschlichen Körper, eine Glühlampe, einen Volt- oder Ohmmesser, einen Polsucher, ein Glas Wasser u. s. w. eingeschaltet denken. Durch diesen Versuch wird die Isolation des negativen Poles des Kupfers einer Dynamomaschine gegen das Eisen derselben ermittelt.

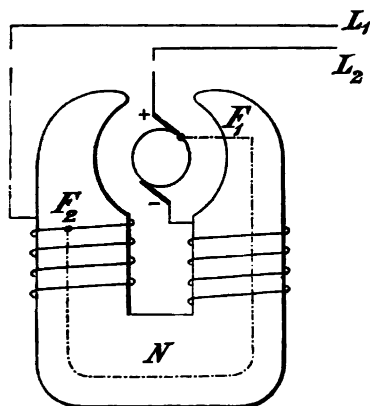


Fig. 236.

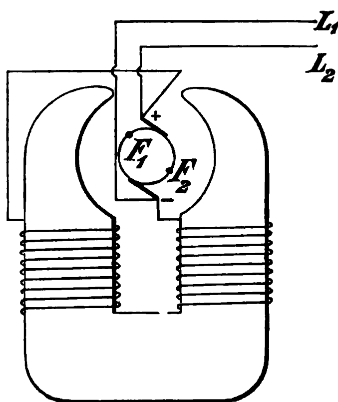


Fig. 237.

Die Anordnung des Versuches zur Bestimmung der Isolation des positiven Poles des Kupfers der Maschine gegen das Eisen derselben unterscheidet sich von der letzten nur dadurch, dass der Probedraht anstatt an den positiven, an den negativen Pol angelegt ist.

Ein Fehler an dem Punkte F, Fig. 235 (Nebenschlussmaschine), veranlaßt einen Stromverlauf in dem durch die Pfeile der strichpunktirten Linie angegebenen Richtung. In dieser Figur liegt der Fehler im Anker und der Strom fließt vom positiven Pole K_1 durch das Galvanometer G, durch die Kontaktstelle C und die Welle zu der Fehlerstelle F zur negativen Klemme K_2.

Der Betrieb erscheint erst dann gefährdet, wenn beide Pole der Maschine keinen Widerstand gegen das Eisen zeigen. Dieser Fall ist in Fig. 236 an einer Serienmaschine und in Fig. 237 an einer Nebenschlussmaschine dargestellt.

In Fig. 236 haben der positive Pol Schluss mit dem Ankereisen bei F_1, der negative Pol mit dem Magneteisen bei F_2, so dass ein Theil oder der ganze Strom im Eisen auf dem Wege $F_1 N F_2$ verläuft.

In Fig. 237 liegen beide Pole metallisch an dem Ankereisen. Zwischen den Fehlerstellen F_1 und F_2, Fig. 237, geht der Strom durch das Ankereisen theilweise oder gänzlich über, je nachdem die Fehlerkontakte F_1 oder F_2 oder F_1 und F_2 unvollkommen oder F_1 und F_2 vollkommen metallisch sind. Durch solche Nebenschlüsse im Eisen fließen starke Ströme und es muss im Anker eine höhere (die doppelte und mehrfache) als die normale Stromstärke, erzeugt werden. Ist der Antriebsmotor genügend stark, so wird die Isolation der Ankerdrähte vollständig zerstört und die Maschine betriebsunfähig, erweist sich derselbe als zu schwach, so bleibt er stehen.

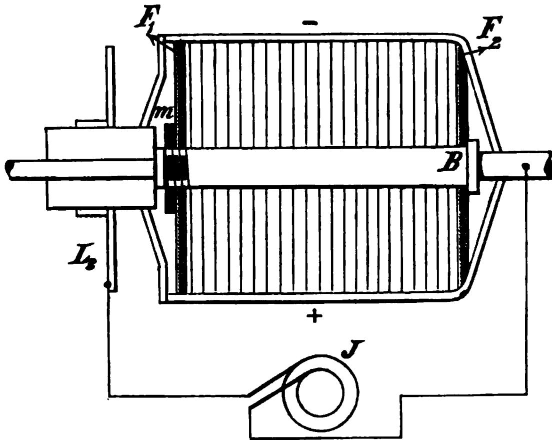


Fig. 238.

Hat das Kupfer der Maschine Schluss mit dem Eisen derselben, so sind das Anker- und Magnetkupfer gesondert zu untersuchen.

b) Isolation der Ankerdrähte gegen das Eisen der Maschine. Diese Prüfung wird im wesentlich so wie die zuletzt besprochene ausgeführt.

Der Trommelanker, Fig. 238, besteht aus von einander (oder aus von einander und der Welle) isolirten Eisenblechen und starken Endscheiben. Eine Endscheibe F_2 wird durch den Bund B an einer bestimmten Stelle der Welle vor Verschiebungen gesichert und die zweite Endscheibe F_1 durch den Mutternring m gegen die Blechscheiben gedrückt.

Der Ringanker, Fig. 239, ist durch ein Kreuz K auf der Welle befestigt. Der Schluss der Kupferdrähte mit dem Eisen findet bei einem Trommelanker in der Regel an den Endflächen und Kanten des Ankers oder an der Welle, bei Ringankern an den Endflächen, Kanten, an dem Kreuze und an der Welle statt. Der Probedraht, Fig. 238, wird von der Kontaktstelle an der Welle durch einen Isolationsprüfer J zu der unteren Kontaktstelle L_3 des Kollektors oder, Fig. 239, durch die

Batterie B, sammt Galvanometer G (beziehungsweise Läutewerk) zu der oberen (Kontaktstelle L_2) des Kollektors geführt, je nachdem die Isolation des nagativen oder positiven Poles zu untersuchen ist. Der gemessene Widerstand muss bei guter Isolation sehr groß sein. Haben beide Pole des Ankerkupfers Schluss gegen das Eisen, so geht der Strom von einem Pole zum andern durch das Ankereisen über, ohne die Ankerwindungen zu durchfließen.

Nähert man dem Anker einer arbeitenden Dynamo, ein Eisenstück mit der Hand bis auf eine geringe Entfernung, so wird das letztere, wenn sich eine kurz geschlossene Ankerabtheilung an demselben vorbei bewegt, stärker angezogen.

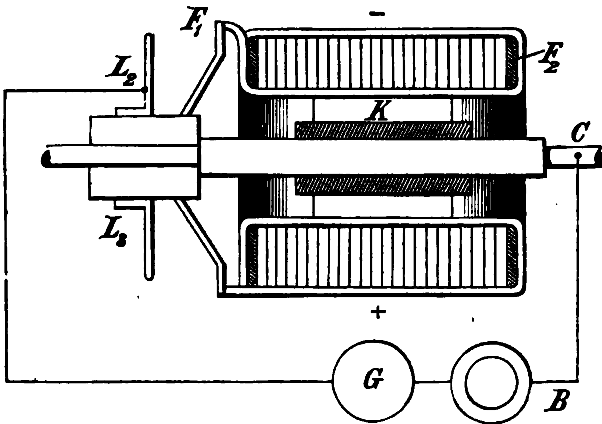


Fig. 239.

Ist die Befestigung der Ankerdrähte unzureichend, so kann der Fall eintreten, dass dieselben während der Thätigkeit der Maschine gegen das Eisen bewegt werden; durch diese Bewegung leidet die Isolation und es entsteht Schluss im Anker.

Dieser Fehler kann häufig nur während der Stromerzeugung der Maschine gefunden werden.

Schickt man bei den Kontaktstücken L_2 und L_3 Strom in den Anker, so kann man die Isolation des Kupfers gegen das Eisen, wie oben (1 a) bestimmen.

c) Isolation des Kupfers der Magnete gegen das Eisen der Maschine.

Haben zwei Drähte der Magnetbewickelung einer Serienmaschine, Fig. 240, z. B. bei F_1 und F_2 Schluss, so geht zwischen diesen Punkten Strom über.

Findet der Schluss zwischen F_1 und F_3 statt, so wird, da kein oder nur ein sehr geringer Theil des Stromes durch die Magnetwindungen fließt, kein oder nur ein sehr geringer Strom im Anker erzeugt.

Fig. 241 soll eine Nebenschlussmaschine darstellen und der Schluss der Magnetdrähte mit dem Eisen findet an den Punkten F_1 und F_2 statt. Der Strom fließt, wie in der Fig. 240, von F_1 nach F_2, die Windungen des linken Magnetschenkels sind ausgeschaltet und wenn an den Polen der Maschine dieselbe Spannung wie früher bestehen soll, so muss, da der Widerstand der Magnetwickelung jetzt halb so groß ist, die Stromstärke in den Windungen des rechten Magnetschenkels doppelt so groß sein und eine starke Erwärmung desselben eintreten; der kurzgeschlossene Schenkel bleibt kalt.

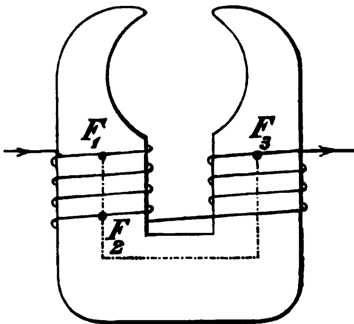


Fig. 240.

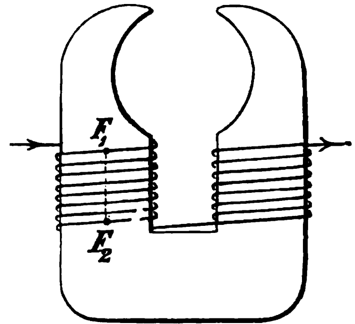


Fig. 241.

Kommt bei der Magnetwickelung ein Isolationsfehler vor, so liegt derselbe entweder an der Einführung des ersten Drahtes der Wickelung E, Fig. 242, und wird durch Prüfung dieser Stelle gefunden oder an der Berührungsfläche zwischen den Magnetdrähten einerseits und der Magnetbüchse B_1 B_1 B_2 B_2 und den Bordscheiben B_1 B_1 und B_2 B_2 andererseits, dann muss eine Lage der Drähte nach der anderen abgewickelt werden, bis ein bei G, zwischen Kupfer und Büchse, eingeschaltetes Galvanometer (Universalgalvanometer, Isolationsprüfer u. s. w.) keinen Schluss mehr anzeigt. Schickt man bei E und B_2 Strom in die Magnetwickelung, so kann man schon durch Uebergehen desselben in einen bei E oder B_2 einerseits und der Magnetbüchse andererseits angelegten Nebenschluss (Probedraht) das Vorhandensein des Schlusses je eines Poles erkennen.

2. In die Untersuchung der Isolation der Kupferdrähte der Maschine untereinander. Bei diesen Untersuchungen darf das Kupfer der Maschine mit dem Eisen derselben nicht in Verbindung stehen.

a) Die gegenseitige Isolation der Ankerdrähte. Die Ankerabtheilung zwischen F_1 und F_2, Fig. 243, sei kurzgeschlossen. Der Kurzschluss, welcher in der Figur durch den strichpunktirten Bogen zwischen F_1 und F_2 angedeutet ist, kann z. B. durch Metallstaub, der durch Schleifen der Bürsten auf dem Kollektor entsteht, oder durch Beschädigung der Isolation an den Kanten des Ankers oder an dem Kreuze (Ringanker) herbeigeführt worden sein.

Der Strom in den Ankerwindungen wird dann von F_1 aus nicht mehr durch die Abtheilung A, sondern nach F_2 fließen.

In dem Stromkreise $F_1\,A\,F_2\,F_1$ muss, weil derselbe einen sehr geringen Widerstand besitzt, ein starker Strom inducirt werden, welcher

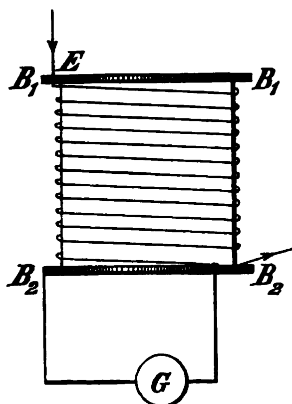


Fig. 242.

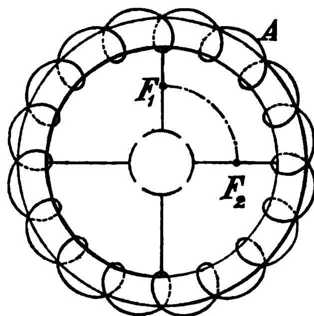


Fig. 243.

die Abtheilung A stark erhitzt. An dem entstehenden Geruche kann man einen eintretenden Schluss in den Windungen sofort wahrnehmen, und denselben, wenn er durch Metallstaub herbeigeführt wurde oder eine Isolation der blanken Stelle möglich ist, vor der vollständigen Zerstörung der Isolation beheben. Bei den Ringankern lassen sich einzelne Abtheilungen leicht durch neue ersetzen, die Trommelanker müssen häufig bis zur Fehlerstelle abgewickelt werden. Nach Fertigstellung wird der Anker mit den Wellenenden auf 2 Böcke gelagert und in eine Dynamomaschine mit Vorschaltung eines Widerstandes eingeschaltet. Der Widerstand wird so eingestellt, dass die Stromstärke in dem zu untersuchenden Anker dem Querschnitte seiner Drähte entspricht. Erwärmt sich der Anker gleichmäßig und ist kein Uebergang zwischen dem Kupfer und Eisen desselben vorhanden, so ist die Isolation zureichend.

b) **Isolation der Magnetdrähte gegeneinander.** Sind Magnetwindungen kurz geschlossen (zeigen z. B. die Drähte einer Lage nebeneinander liegender Drähte mit den darüber gewickelten Drähten der zweiten Lage Schluss), so wird der Strom zwischen den kurz geschlossenen Windungen übergehen, ohne die dazwischen liegenden zu durchfließen. Da jetzt weniger Windungen magnetisirend wirken, ist die Leistung der Maschine bei derselben Stromstärke kleiner. Bei einer Nebenschlussmaschine tritt Erwärmung der nicht kurzgeschlossenen Windungen ein, weil bei gleicher Betriebsspannung die Stromstärke in denselben steigt.

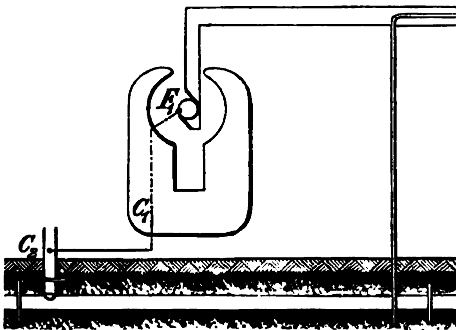


Fig. 244.

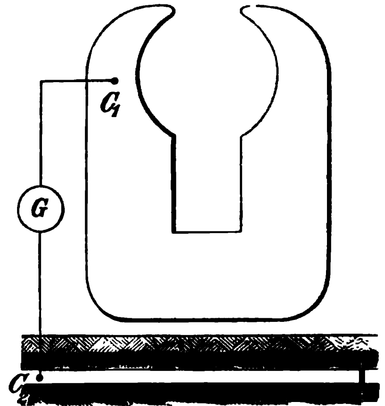


Fig. 245.

3. **In die Untersuchung der Isolation des Eisens der Maschine gegen die Erde.**

Ist die Isolation zwischen dem Kupfer und Eisen der zu prüfenden Maschine und der Außenleitungen gegen die Erde unzureichend, so muss auch bei diesen Untersuchungen die Außenleitung an den Klemmen der Maschine ausgeschaltet werden.

Für einen sicheren Betrieb ist es erforderlich, dass das Eisen der Maschine von der Erde gehörig isolirt sei, weil dadurch verhindert werden kann, dass sich, wenn einerseits ein Pol der Maschine gegen das Eisen und andererseits der zweite Pol der Leitung gegen die Erde Schluss haben, ein Nebenschluss durch die Erde und das Eisen der Maschine bildet, welcher je nach der Größe seines Widerstandes Strom verbraucht und zur Einstellung des Betriebes, sowie Zerstörung der Isolation des Ankers führen kann. Zeigen, sowie es Fig. 244 veranschaulicht, ein Pol der Maschine Schluss gegen das Eisen (in der Figur Ankereisen)

und derselbe Pol der Leitung Schluss gegen die Erde, so ist der Betrieb noch nicht gefährdet, der Fehler jedoch muss sofort behoben werden.

Die Anordnung des Versuches zur Bestimmung der Isolation des Eisens der Maschine gegen die Erde zeigt Fig. 245.

Erweist sich der Widerstand zwischen C_1 und C_2 als sehr groß, so ist die Isolation ausreichend. Eine zwischen C_1 und C_2 eingeschaltete Glühlampe glüht hell, wenn die Maschinen und normale Lampenspannung gleich sind, sobald Kurzschluss zwischen dem Eisen der Maschine und der Erde stattfindet. Ein bei C_1 und C_2 angelegtes Galvanometer (Isolationsprüfer u. s. w.) geben über die Isolation einer stromlosen Maschine gegen die Erde Aufschluss.

4. Unterbrechung im Anker. Eine Messung des Widerstandes des Ankers mit einem Galvanometer (Universalgalvanometer, Messbrücke u. s. w.) lehrt, ob eine Unterbrechung in den Ankerabtheilungen stattfindet oder nicht. Findet eine Unterbrechung statt, so geht die Maschine nicht an, d. h. sie gibt keinen Strom. Versuchsweises Anlegen eines Drahtes an zwei beliebige, mehr oder weniger weit von einander entfernte Kollektorlamellen z. B. an *m* und *n*, Fig. 246, während des Laufes der Maschine zeigt, falls dieselbe dabei angeht, durch das Ueberspringen kräftiger Funken zwischen den genannten Punkten die Fehlerstelle durch die, infolge dieses Versuches, schadhaft gewordenen Kollektorlamellen an.

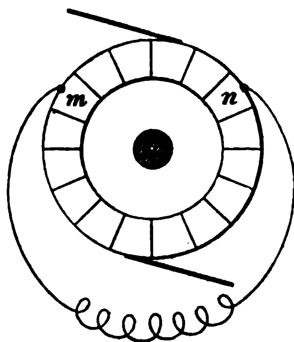


Fig. 246.

Schlechtes Verlöthen oder Verschrauben der Verbindungsstellen zwischen den einzelnen Abtheilungen oder zwischen den letzteren und den Kollektorlamellen verursachen diesen Fehler sowie das Entstehen schlechter Kontakte an denselben Stellen, wodurch Funkenbildung, Heißwerden und Verbrennen der Kontakte eintreten. In beiden Fällen muss rechtzeitig ausgeschaltet und abgestellt werden.

5. Die Maschine gibt in den folgenden Fällen keinen Strom:

a) Der zurückbleibende (remanente) Magnetismus ist zu schwach, um in den Ankerdrähten Strom zu induciren; dann muss man die Maschine entweder durch eine zweite erregen (in den Stromkreis einer zweiten Maschine mit vorgeschaltetem Widerstande einschalten) oder folgend behandeln. Eine Serienmaschine geht oft schon an, wenn dieselbe augenblicklich kurzgeschlossen wird oder es

zeigt sich durch Verbrennen der Isolation oder Schmelzen der Kontaktstellen der Fehler an. Bei der Nebenschlussmaschine ist dieses Verfahren nicht anwendbar, da dieselbe durch Kurzschluss stromlos wird.

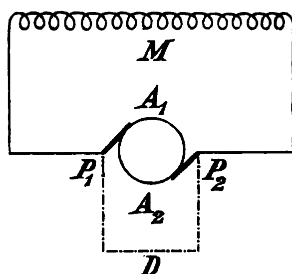


Fig. 247.

Fig. 247 zeigt das Schema einer Nebenschlussmaschine.

Zu dem Stromkreise P_1 M P_2 (Magnetstromkreis) sind die beiden Ankerstromkreise P_1 A_1 P_2 und P_1 A_2 P_2 parallel geschaltet. Verbindet man die Pole P_1 und P_2 durch einen Probedraht D, d. h. schliesst man die Maschine kurz, so wird, da in dem Stromkreise P_1 D P_2 ein ganz geringer, gegen den Widerstand in den Magneten verschwindend kleiner Widerstand herrscht, der ganze Strom durch diesen fließen.

Schließt man eine Nebenschlussmaschine kurz, so werden oder bleiben die Magnete stromlos, je nachdem sie früher Strom hatten oder nicht.

Die Nebenschlussmaschine muss deshalb entweder erregt werden oder bei normalen oder höheren Umdrehungszahlen und bei kurzgeschlossener Magnetwickelung solange laufen, bis dieselbe angeht. Die Isolation der Drähte einer Serienmaschine verbrennt und das Kupfer derselben schmilzt. wenn man die Maschine auch nur einige Sekunden kurzschliesst. Schließt man den Strom einer Nebenschlussmaschine kurz, so wird derselbe augenblicklich ansteigen, wobei häufig eine Beschädigung der Isolation und das Reißen oder Abwerfen des Riemens eintreten.

b) Die Verbindungen der Drähte im Anker oder in den Magneten, sowie die Verbindungen des Ankers mit den Magneten sind mangelhaft oder gar nicht vorhanden. Diese Verbindungen müssen sorgfältigst geprüft werden. Einen Fehler findet man, geradeso wie früher den kurzen Schluss, durch Widerstandsmessungen oder durch Versuche mit Maschinenstrom; oft kann derselbe schon durch Anziehen von Verbindungsschrauben oder Klemmen behoben werden. Nicht selten sind auch schlechte Kontakte zwischen den Bürsten und dem Kollektor und dem Bürstenhalter und Bürstenstifte vorhanden.

c) Der Anker oder die Magnete zeigen Kurzschluss. Dieser Fall wurde bereits früher besprochen.

d) Die Bürstenstellung entspricht nicht den in § 109 gegebenen Bedingungen.

6. Ursachen der Funkenbildung sind:

a) Die fehlerhafte Einstellung der Bürsten.

b) Eine rauhe oder unreine Oberfläche des Kollektors. Der Kollektor muss vollkommen rund und glatt polirt sein.

c) Unzureichende Kontakte zwischen Bürsten und Kollektor (unrichtige Auflage der Bürsten), den Bürsten und Bürstenhaltern, den Bürstenhaltern und Bürstenstiften.

d) Schadhafte Stellen in der Wickelung der Maschine.

e) Ungleichmäßige Vertheilung der Ankerabtheilungen.

f) Unrichtige Berechnung der Maschine, insbesondere falsche Berechnung des Verhältnisses zwischen den im Anker und in den Magneten herrschenden magnetischen Kräften. Die Funkenbildung nimmt mit dem Anwachsen des magnetischen Feldes ab.

g) Die Isolation der Leitung ist schlecht und die Maschine wird infolge von Ueberbeanspruchung heiß.

h) Das Einschalten zu vieler Lampen oder von Lampen zu hoher Stromstärke.

145. Die Prüfung der Leistungsfähigkeit der Maschinen.

1. Die Messung der Stromstärken erfolgt entweder direkt mittelst des Ampèremessers oder Elektrodynamometers (Seite 83, Fig. 84) oder indirekt z. B. mittelst des Torsionsgalvanometers (Seite 81, Fig. 82). Die Klemmen *a* und *b* eines Messkabels (Seite 79, Fig. 81), von bekanntem Widerstande werden in den Stromkreis, dessen Stromstärke zu messen ist, eingeschaltet. Ein Torsionsgalvanometer *G* sammt Zusatzwiderstand *Z* bestimmt die Spannung zwischen den Punkten *a* und *b*. Die Stromstärke ist dann gleich dieser Spannung getheilt durch den Widerstand des Messkabels.

Beispiel: Wie groß ist die Stromstärke in einem Stromkreise, wenn die Spannungsdifferenz an den Klemmen eines in denselben eingeschalteten 0·001 Ohm Messkabels 0·1 Volt beträgt?

$$J = \frac{E}{W} = \frac{0·1}{0·001} = 100 \text{ Ampère.}$$

2. Die Messung von Spannungsdifferenzen besorgen der Voltmesser, das Torsionsgalvanometer u. s. w. Die Spannungsdifferenzen an den Klemmen einer Dynamomaschine, einer Lampe, eines Widerstandes zeigen die letzgenannten Messinstrumente an, wenn man die Klemmen derselben mit denjenigen der Maschine, Lampe oder des Widerstandes verbindet. Die elektromotorische Kraft einer dynamoelektrischen Maschine ist jene Spannungsdifferenz, welche im Anker derselben herrscht; dieselbe setzt sich zusammen aus der Klemmenspannung der Maschine und aus dem durch den Widerstand des Ankers verursachten Spannungsverlust in demselben.

Die elektromotorische Kraft = Klemmenspannung + Spannungsverlust im Anker. Der Spannungsverlust im Anker ist bestimmt durch die II. Form des Ohm'schen Gesetzes:

$$E = J \times W.$$

Es sei besonders darauf aufmerksam gemacht, dass das Torsionsgalvanometer nicht in der Nähe laufender Maschinen aufgestellt werden soll, da es von in der Nähe befindlichen Strömen oder bewegten Eisenmassen bezüglich seiner Angaben beeinflusst wird.

Beispiel: Der Widerstand des Ankers der Betriebsdynamomaschine an der k. k. Staatsgewerbeschule in Wien, X., $W = 0{\cdot}2$ Ohm, die normale Ankerstromstärke $J = 30$ Ampère. Wie groß ist der Spannungsverlust und die elektromotorische Kraft in diesem Anker bei einer Klemmenspannung von 120 Volt?

$$E = J . W = 30 \times 0{\cdot}2 = 6 \text{ Volt}.$$

Der Spannungsverlust beträgt 6 Volt, die elektromotorische Kraft = 6 + 120 = 126 Volt.

3. Die Widerstandsmessungen (Widerstände der Anker- und Magnetwickelungen). Bei den Messungen der Widerstände der Anker- und Magnetwickelungen ist zu berücksichtigen, dass dieselben mit steigender Temperatur zunehmen. In die Rechnung sind jene Widerstände einzuführen, welche die Maschine nach einem Dauerbetriebe (mindestens 3—4 Stunden) mit voller Leistung besitzt. Die letzteren Widerstände werden zumeist mittels der Messbrücke, des Universalgalvanometers, des Spiegelgalvanometers u. s. w. gemessen.

4. Die Güte des magnetischen Feldes ist durch die Anzahl der zur Selbsterregung erforderlichen Umdrehungen der Maschine bestimmt. Je rascher sich eine Maschine erregt, desto besser ist ihr magnetisches Feld.

5. Die Bestimmung der Güteverhältnisse (Wirkungsgrade oder Nutzeffekte).

a) Das elektrische Güteverhältnis einer Dynamomaschine bestimmt die Gleichung:

$$G_e = \frac{e.i}{E.J},$$

worin die Buchstaben die in § 130 angegebene Bedeutung haben. Das Produkt $e.i$ stellt den elektrischen Effekt in Volt-Ampère im äußeren Stromkreise, $E.J$ in der Maschine dar. Das Verhältnis der beiden letzten Produkte vergleicht die elektrische Arbeit außer- und innerhalb der Maschine (elektrisches Güteverhältnis, elektrischer Nutzeffekt oder elektrischer Wirkungsgrad).

Beispiel: Es ist das elektrische Güteverhältnis der im letzten Beispiele angenommenen Maschine zu berechnen, wenn die Klemmenspannung 120 Volt, die elektromotorische Kraft des Ankers 126 Volt, der Außenstrom 30 Ampère und der Ankerstrom 32 Ampère betragen?

$$G_e = \frac{e.i}{E.J} = \frac{120 \times 30}{126 \times 32} \doteq 0{\cdot}90 \text{ oder } 90\%.$$

b) Das mechanische Güteverhältnis (mechanischer Wirkungsgrad) ist durch das Verhältnis der Leistung einer Maschine im äußeren Stromkreise zu der gesammten erforderlichen mechanischen Arbeit bestimmt, d. h.

$$G_m = \frac{e.i}{736} \cdot \frac{1}{N}.$$

Der Quotient $\frac{e.i}{736}$ stellt, da eine elektrische Pferdekraft 736 Volt-Ampère gleich ist, die Anzahl der im äußeren Stromkreise geleisteten elektrischen Pferde N_e dar:

$$G_m = N_e \cdot \frac{1}{N} = \frac{N_e}{N}, \text{ d. h.}$$

das mechanische Güteverhältnis =

$$\frac{\text{Anzahl d. elekt. Pferdekräfte im äußeren Stromkreise.}}{\text{Anzahl der zum Antriebe d. Dynamo erfordl. mech. Pferde.}}$$

Beispiel: Wie groß ist das mechanische Güteverhältnis einer Dynamomaschine bei einer Klemmenspannung von 100 Volt und einer Außenstromstärke von 200 Ampère, wenn zum Antriebe derselben 30 *P. S.* (Pferdestärken) genügen?

$$G_m = \frac{N_e}{N},$$

$$N_e = \frac{e.i}{736} = \frac{100.200}{736} = 27.$$

$$G_m = \frac{27}{30} = 0{\cdot}90 \text{ oder } 90\%.$$

Das Güteverhältnis einer Dynamomaschine hängt von den folgenden Bestimmungsstücken ab:

a) Die Größe der Maschine. Je größer die Dynamo ist, desto größer kann das Güteverhältnis sein. Die Grenzen für das elektrische Güteverhältnis liegen bei gut gebauten Maschinen zu rund 5—100 *P. S.* zwischen 85 und 97%, die Grenzen für das mechanische Güteverhältnis zwischen 80 und 94%. In beiden Fällen wurde die normale Leistung der Maschine vorausgesetzt.

b) Die jeweilige Belastung der Maschine. Während bei einer höheren als der normalen Leistung die Güteverhältnisse der Dynamomaschinen die letzten Werte überschreiten, sinken dieselben bis unter die Hälfte der zuletzt angegebenen Werte bei niederer Belastung. Die volle Beanspruchung von Gleichstrommaschinen kann leicht mit Hilfe von Akkumulatoren dadurch erfolgen, dass dieselben bei geringerem Stromverbrauche geladen werden.

6. Die Ursachen der Verluste an Strom und Kraft durch dynamoelektrische Maschinen.

a) Der Effektverlust in den Anker- und Magnetwickelungen der Maschine.

b) Verluste durch Wirbelströme im Ankereisen, im Ankergerüste und in den Ankerwindungen.

c) Verluste durch magnetische Reibung oder Hysteresis. Schickt man durch die Windungen eines Elektromagnetes einmal nacheinander z. B. 1, 2 und 3 Ampère und gleich darauf 3, 2 und 1 Ampère, so zeigt es sich, dass der Magnetismus für 2 Ampère in jedem Falle ein anderer ist. Es bleibt der erste Magnetismus gegen den zweiten zurück. Die Grösse des Unterschiedes der beiden Magnetismen bestimmt den durch Hysteresis erzeugten Verlust. Die Hysteresis nimmt mit der Umdrehungszahl der Dynamo zu.

Der zurückbleibende Magnetismus der Eisenkerne ist eine Erscheinung der Hysteresis (§ 93).

Die Luft besitzt keine Hysteresis, weiches Eisen eine geringere als hartes.

Hysteresis ist ein griechisches Wort und heißt: „Das Zurückbleiben.“

Diese Bezeichnungsweise rührt von J. A. Ewing[1]) her und wurde deshalb gewählt, weil bei dem oben beschriebenen Vorgange die Aenderungen des Magnetismus hinter den Aenderungen der magnetisirenden Kraft zurückbleiben..

d) Gegenseitige Induktion zwischen den einzelnen Abtheilungen der Ankerwickelung und Selbstinduktion in denselben. Je größer die Anzahl der Windungen in den einzelnen Abtheilungen ist, desto größer ist die gegenseitige Induktion. Stehen die Bürsten genau zwischen den Polschuhen, so arbeitet die Maschine am besten. Jemehr die Bürsten von dieser Stellung abweichen, desto größer zeigt sich der Einfluss der Selbstinduktion. Je stärker das magnetische Feld (das Produkt aus Ampère × Windungen der Magnete) ist, desto geringer wird die Bürstenverschiebung.

---

[1]) J. A. Ewing, Magneticinduction in iron and other metals, 1892.

e) Magnetisirung im Querschnitte des Ankers (Quermagnetisirung des Ankers, § 114). Die Kraftlinien der Magnetisirung und Quermagnetisirung stehen aufeinander senkrecht.

f) Verluste, welche infolge von zeitweisen Schwankungen des inducirten Stromes in den Magnetkernen entstehen.

g) Verluste bedingt durch die Uebergangswiderstände zwischen den Bürsten und dem Kollektor.

h) Mechanische Verluste oder Leerlaufarbeit als Reibungswiderstand des Ankers in der Luft, der Welle in den Lagern der Maschine, zwischen Bürsten und Kollektor u. s. w.

Unter Leerlaufsarbeit versteht man diejenige Arbeit, welche der Betrieb des Ankers in der Sekunde im stromlosen Zustande erfordert. Auf mechanische Verluste, welche z. B. durch das zu straffe Spannen der Riemen eintreten können, macht die Bestimmung der Leerlaufsarbeit aufmerksam.

7. Bestimmung der mechanischen Pferdekräfte.

a) Die Indikatormethode besteht in der Aufnahme eines Indikatordiagrammes an der Dampfmaschine. Die aus dem Diagramme sich ergebenden inducirten *P. S.* geben ein Maß der auf die Dynamomaschine übertragenen Kraft, vorausgesetzt dass die Dampfmaschine keine weitere Arbeit leistet. Hat die Dampfmaschine außer der Dynamomaschine z. B. Arbeitsmaschinen anzutreiben, so kann diese Methode leicht Irrthümlichkeiten verursachen, da die Belastung der Dampfmaschine dann durch Aenderung der Leistung der Arbeitsmaschinen, durch Reibungswiderstände u. s. w. oft innerhalb weiter Grenzen varirt.

b) Die Bremsmethode beruht darauf, dass man den Motor (Dampfmaschine, Wassermotor, Gasmotor u. s. w.) unter den Verhältnissen bremst, welche dem Betriebe der Dynamomaschine entsprechen. Diese Methode hat die Nachtheile, dass sie die schwer herzustellenden gleichen Betriebsverhältnisse erfordert und keine, mit den Ablesungen an den elektrischen Messinstrumenten gleichzeitige, Messungen gestattet. Zum Abbremsen der Arbeit eines Motors findet der Prony'sche Zaum (§ 151) Verwendung. Verbesserungen stammen von Poncelet, Appold, Deprez, Raffard, James Thomson, Unwin, Carpentier und Ayrton & Perry.

c) Die Dynamometermethode.

Die Einschalt- oder Transmissionsdynamometer werden zwischen den Motor und die Dynamo in die Transmission eingeschaltet, ver-

brauchen die von dem Motor geleistete Arbeit nicht und ermöglichen mit den elektrischen Ablesungen an den Messinstrumenten gleichzeitige Kraftmessungen. Die Transmissionsdynamometer messen entweder die von dem Riemen oder von der Welle übertragene Kraft. Instrumente der ersten Art sind die Dynamometer von Siemens & Halske[1]) (F. von Hefner-Alteneck, § 151), Bramwell, Tatham, Foude, Kummer u. A.

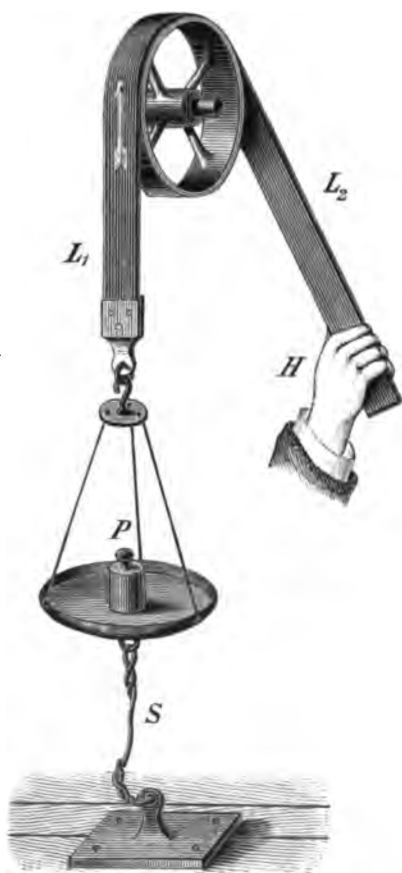


Fig. 248.

Die von der Welle übertragene Kraft misst das Dynamometer von Morin. Dieses Instrument wurde von Easton und Anderson, Heinrichs, Ayrton und Perry und F. J. Smith abgeändert.

d) Einfachste Ermittelung der mechanischen Pferdekräfte. Auf die Riemenscheibe, Fig. 248, wird ein Riemen L_1 L_2 aufgelegt; derselbe trägt an seinem Ende L_1 auf einer Wagschale das Gewicht P. Dreht sich die Scheibe in der Richtung des eingezeichneten Pfeiles, so wird die am Umfange der Scheibe herrschende Kraft ein Gewicht P tragen. Hält man demnach den Riemen bei H und legt solange Gewichte P auf die Wagschale, bis dieselben noch von der Umfangskraft getragen werden, so geben dieselben sammt den Gewichten der Wagschale, des Riemens auf der Seite der Wagschale und des Seiles S die Umfangskraft an.

Die Wagschale ist durch das Seil S, welches einen Spielraum zwischen dem Befestigungspunkte desselben und der Wagschale gewährt, zu sichern, da dieselbe sonst vor Herstellung des Gleichgewichtszustandes emporgeschleudert werden kann.

---

[1]) Schröter, Bayr. Industrie- und Gewerbeblatt, 1888.

Noch besser als eine Riemenscheibe und ein Riemen eignet sich zur Ausführung obiger Versuche eine Seilscheibe und ein Seil.

Auf obige praktische Messmethode wurde ich zuerst durch Josef Seidener aufmerksam gemacht. Die Messungen geben sehr gute Resultate.

e) Berechnung der Umfangsgeschwindigkeit und der übertragenen Pferdekräfte.

Bezeichnungen:

P = Umfangskraft in *kg*,
N = Anzahl der übertragenen Pferdekräfte,
v = Umfangsgeschwindigkeit,
n = Umdrehungen in der Sekunde,
D = Durchmesser der Riemenscheibe in Meter.

Macht die Riemenscheibe in der Sekunde 1 Umdrehung, so ist der von einem Punkte am Umfange derselben in der Sekunde zurückgelegte Weg (die Umfangsgeschwindigkeit)

v_1 = der Länge des Umfanges der Scheibe in Meter,
$v_1 = \pi D$ Meter.

Macht die Scheibe in der Sekunde n Umdrehungen, so ist die Umfangsgeschwindigkeit eines Punktes am Umfange derselben

$$v = v_1 n \text{ oder}$$
$$v = \pi D \, . \, n.$$

Hat die Umfangskraft den Wert P *kg*, so ergibt sich damit die geleistete Arbeit (Kraft mal Weg) in $mkg = Pv$ und da 1 Pferdekraft (1 N) = 75 mkg ist, sind die Anzahl der übertragenen Pferdekräfte

$$N = \frac{P \, . \, v}{75}.$$

Beispiel: Die Riemenscheibe einer Maschine hat einen Durchmesser von 0·3 Meter.

Wie groß ist die Umfangsgeschwindigkeit eines Punktes der Riemenscheibe, wenn die Maschine in der Sekunde 20 Umdrehungen macht?

$v = \pi D n$,
$v = 3{\cdot}14 \, . \, 0{\cdot}3 \, . \, 20 = 18{\cdot}84 \, m$ in der Sekunde.

Die Umfangsgeschwindigkeit eines Punktes in der Mitte des Riemens (Riemengeschwindigkeit) ist unbedeutend größer, weil für die Berechnung derselben zu dem Durchmesser D der Riemenscheibe die einfache Riemendicke addirt werden muss.

Beispiel: Wie groß sind, mit Benützung der Angaben im letzten Beispiele, die übertragenenen Pferdekräfte, wenn die Umfangskraft $P = 80\ kg$ beträgt?

$$N = \frac{P \cdot v}{75} = \frac{80 \cdot 18{\cdot}84}{75} = 20{\cdot}36 \text{ Pferdekräfte.}$$

f) Die Gleichgewichtsmethode ist insbesondere bei kleinen Maschinen anwendbar, weil dieselben durch mit Reibungswiderständen behaftete Instrumente keine genauen Messungen ermöglichen. Man lagert die zu untersuchende Maschine mit ihrer Welle auf Drehpunkte oder in Reibungsrädern und balancirt das Gewicht der Feldmagnete und des Gestelles der Maschine durch Gegengewichte aus.

Schickt man durch die Maschine Strom, so erhalten der Anker und die Magnete das Bestreben in verschiedenen Richtungen zu rotiren. Eine Federkraft, welche dazu dient, das Gleichgewicht in jedem Augenblicke herzustellen, misst die übertragene Kraft.

g) Die elektrischen Methoden werden mit zwei oder mehreren Dynamomaschinen ausgeführt und sind viel zuverlässlicher, als alle mechanischen Methoden.

J. & E. Hopkinson verbinden zwei ähnliche Dynamomaschinen elektrisch und mechanisch. Die angetriebene Maschine gibt ihre Kraft an dieselbe Welle ab, wie der Antriebsmotor. Die Kraft des letzteren muss durch ein Dynamometer gemessen werden. In den elektrischen Methoden von Cardew, Menges, Ravenshaw & Swinburne sind mechanische Messungen gänzlich vermieden.

146. Vortheile beim Prüfen der Maschinen und Motoren.

1. Die Prüfung einer Dynamomaschine mit einem Motor, dessen Leistung geringer ist, als der Kraftbedarf der ersteren.

Beispiel: Eine Dynamomaschine I zu 100 *P. S.*, Fig. 249, soll mittelst eines Motors *M*, zu 20 *P. S.* ausprobirt werden.

Bei den Proben der Dynamomaschine wird gewöhnlich ein, der normalen Beanspruchung derselben entsprechender Widerstand oder eine Lampenbatterie in den äußeren Stromkreis eingeschaltet; es ist selbstverständlich, dass dann zum Antriebe der Dynamomaschine die volle motorische Kraft vorhanden sein muss.

Schickt man jedoch, Fig. 249, den Strom aus der zu prüfenden Maschine I in eine zweite Dynamomaschine (Elektromotor) II und treibt mittelst dieser die gemeinsame Welle *W* an, so ist zu dieser Probe nur so viel elektrische Kraft erforderlich als

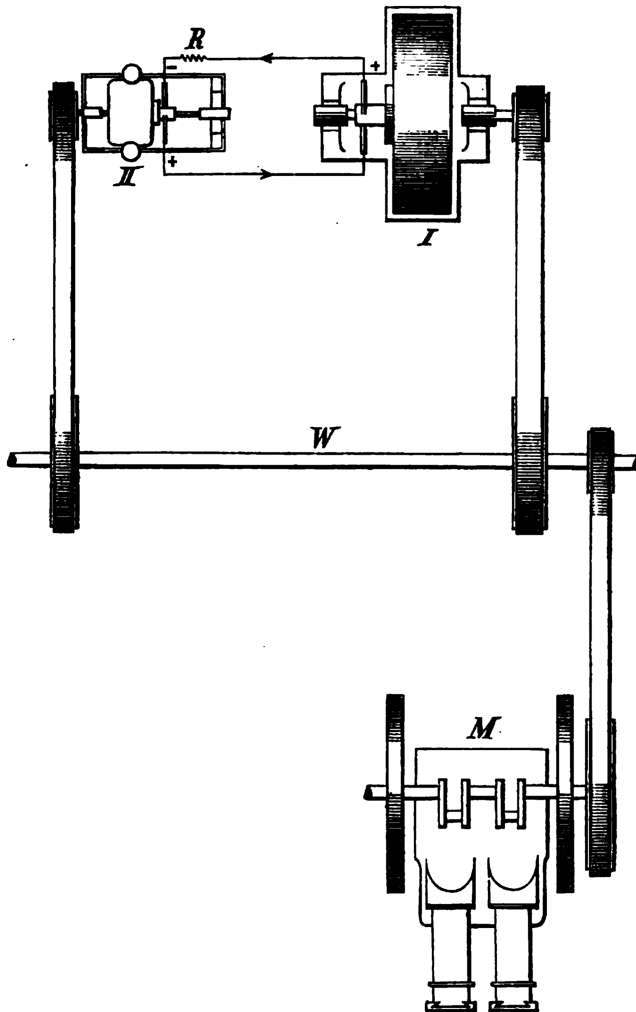


Fig. 249.

a) durch den Umsatz der mechanischen Kraft des Motors *M* in elektrische Arbeit in der Dynamo I,

b) durch den Umsatz der elektrischen Arbeit der Dynamo I in mechanische Arbeit (Antrieb der Welle *W* durch den Elektromotor II) und

c) durch das gemeinsame Vorgelege verloren geht.

Diese Verluste übersteigen bei wirtschaftlichen Dynamomaschinen (Maschinen mit hohem Güteverhältnisse) zu 100 *P. S.* nie 20 *P. S.* Eine

motorische Anlage von etwa 20 *P. S.* genügt bei Anwendung dieser Methode zur Prüfung von Dynamo bis zu einer Leistung von etwa 100 *P. S.*

Vorsichtshalber wird man zwischen die Maschinen I und II einen Rheostat *R* einschalten, um schon bei niederen Leistungen die Stromverhältnisse reguliren zu können. Bei der vollen Leistung muss der Rheostat kurzgeschlossen sein, wenn nicht Kraftverluste durch denselben eintreten sollen. Der Kurzschluss des Rheostates *R* hat bei richtiger Wahl der Riemenscheiben (der Uebersetzungsverhältnisse) auch bei voller Leistung keine Schwierigkeiten, wenn der Elektromotor II mindestens für dieselbe Spannung gebaut ist, wie die Maschine I.

2. Verbindet man eine Reihe von Dynamo und Elektromotoren mechanisch, beziehungsweise elektrisch mit einander, so kann man mit Hilfe eines mechanischen Motors eine Reihe von Dynamo beziehungsweise Elektromotoren gleichzeitig ausprobiren und deren mechanische Güteverhältnisse zuverlässig bestimmen.

Die Anzahl der Pferdekräfte des mechanischen Motors muss dann den Verlusten in den einzelnen Dynamo und Elektromotoren gleich sein.

Treibt man z. B. von einem mechanischen Motor aus eine 1. Dynamo an, speist mit dem Strome derselben einen Elektromotor und benützt diesen zum Antriebe einer 2. Dynamo, so gibt das Verhältnis der Volt-Ampère an der 1. Dynamo zu dem Verhältnisse der Volt-Ampère an der 2. Dynamo das mechanische Güteverhältnis des Elektromotors sammt der 2. Dynamo.

Sind Elektromotor und Dynamo gleich groß (gleicher Leistung), so zerfällt der gesammte Verlust in 2 gleiche Theile.

Beispiel: Die 1. Dynamo gibt bei obiger Anordnung 20000 Watt, die 2. Dynamo 18000 Watt.

Wie groß ist das mechanische Güteverhältnis des Elektromotors sammt der 2. Dynamo, wenn beide gleiche Abmessungen (beziehungsweise Leistungen) haben?

Der gesammte Verlust steht in dem Verhältnisse

$$\frac{18000}{20000} = 0{\cdot}90 \text{ oder } 90\%.$$

Das mechanische Güteverhältnis des Elektromotors sammt der 2. Dynamo beträgt daher 90%.

Da in beiden Maschinen 10% verloren gehen, muss der Verlust in jeder Maschine (Elektromotor und Dynamo) 5% sein. Das mechanische Güteverhältnis jeder Maschine ist daher 95%.

VI. Weitere Bemerkungen über die Konstruktion der Dynamomaschinen und Motoren.

147. Der Anker besteht aus weichen Eisenblechen oder Bändern, welche von einander durch Papier, Zinkweiß u. s. w. isolirt sind oder aus isolirten z. B. baumwollumsponnen Eisendrähten mit kreisförmigem, quadratischem oder rechteckigem Querschnitte. Es ist besonders darauf zu achten, dass die Befestigung der Eisenkerne auf der Welle der Maschine (Trommelanker), Seite 200, oder die Befestigung des Eisenkernes auf dem Kreuze und des Kreuzes auf der Welle (Ringanker) eine vorzügliche sei, Seite 201, weil sonst eine Lockerung desselben eintreten kann, welche Funkenbildung und Schluss im Anker zur Folge hat. Das Zusammenziehen der Scheiben des Eisenkernes durch Bolzen ist selbst dann nicht rathsam, wenn dieselben gehörig isolirt sind, weil die beste Isolation beschädigt werden kann und der Eisenquerschnitt in Mitleidenschaft gezogen wird. Tritt Schluss des Bolzens mit dem Eisenkerne ein, so entstehen, wie in dem Falle der schlechten Isolation der Blechscheiben untereinander, die sogenannten Wirbel- (Foucault')schen Ströme in dem Ankereisen, welche

1. das Ankereisen erhitzen,
2. das Güteverhältnis der Dynamo herabdrücken.

Solche Ströme bilden sich auch in den Ankerwindungen, wenn dieselben massiv sind.

Die Welle der Dynamomaschine muss stärker bemessen werden, als es die Gesetze des Maschinenbaues lehren, weil schon ganz geringe Schwankungen derselben die Festigkeit des Ankers gefährden und ein Streifen der Ankerflächen an den Polflächen, herbeiführen. Der magnetische Stromkreis jeder Dynamo hat das Bestreben sich zu verkürzen. Durch dieses Bestreben wird der Anker in den Maschinen der Gruppe I (§ 127, Seite 155 ff.) mit nur einem magnetischen Stromkreise kräftig gegen das Joch gezogen, während sich in den Maschinen mit zwei oder mehreren magnetischen Stromkreisen die entgegengesetzten Wirkungen je zweier Stromkreise aufheben.

Der Abstand zwischen dem Ankereisen und den Polflächen muss möglichst klein sein. Bei zweipoligen Maschinen mit Stromstärken von 50 bis rund 150 Ampère können Vierkantkupferdrähte als Ankerwickelung angewendet werden, weil dieselben bei gleichem Querschnitte mit einem runden Drahte einen geringeren Raum einnehmen. Es ist hervorzuheben, dass bei der Anwendung solcher Drähte leicht eine Beschädigung der Isolation derselben stattfinden kann. Durch Abrunden der scharfen Kanten lässt sich dieser Uebelstand beinahe gänzlich beheben.

Für Stromstärken von 200 und mehr Ampère und niedere Umdrehungszahlen sind mehrpolige Maschinen praktisch; bei diesen Maschinen werden die Querschnitte der Ankerdrähte, der Abstand zwischen dem Ankereisen und den Polflächen und die Umdrehungszahl kleiner.

Der Abstand zwischen den Ankerwindungen und Polflächen erhält den kleinsten Wert, wenn die Höhe der Kupferdrähte am geringsten wird und beträgt im günstigsten Falle 1·5 *mm*.

Ein Ankerkern aus isolirten Eisendrähten hat den Nachtheil, dass der Eisenquerschnitt eine Schädigung erleidet, weil

1. die Isolation der Drähte mehr Raum beansprucht als die von Blechen und

2. der Querschnitt des magnetischen Feldes durch die Isolation der Drähte unterbrochen (die Unterbrechung findet hier nicht nur in der Richtung des Längsquerschnittes des Ankereisens, wie bei Blechscheiben, sondern auch in der Fortpflanzungsrichtung der Kraftlinien statt) und der Widerstand des magnetischen Stromkreises deshalb größer ist.

Eine besondere Form des Eisenkernes stellt der sogenannte Nutenkern (Ring mit Zähnen) dar. Bei dieser Konstruktion liegen die Ankerwindungen in den Nuten eines Eisenkernes. Die Nutenanker haben folgende Vorzüge:

1. Die Befestigung der Ankerdrähte ist vollkommen.
2. Der Luftabstand zwischen den Polschuhen und dem Ankereisen ist ein Kleinster.
3. Die Ersparnis an Kupfer beträgt rund den 3. Theil.[1])
4. Die Tourenzahlen werden bis auf die Hälfte erniedrigt.[1])

Als Nachtheile des Nutenkernes wären insbesondere hervorzuheben:

1. Eine gute Isolation der Ankerwindungen ist schwer zu erreichen.
2. Die Erwärmung des Kernes infolge von Wirbelströmen.
3. Nutenkerne sind sehr theuer.

148. Die Magnete. Das beste Material für die Feldmagnete (Kern, Joch und Polschuh) ist weiches Schmiedeeisen und Gussstahl, das minder gute Gusseisen. Die Güte (magnetische Leitungsfähigkeit) der verschiedenen Gussstahlsorten reicht von der des Gusseisens bis zu jener des Schmiedeeisens. Die Preise des Schmiede- und Gusseisens verhalten sich beiläufig wie 8 : 3, die bei demselben magnetischen Strome (bei gleich starkem magnetischen Felde) erforderlichen Querschnitte wie 2 : 3. Ein Nachtheil der schmiedeeisernen Magnete besteht darin, dass dieselben

---

[1]) Tischendörfer (Kolbe), Zeitschrift für Elektrotechnik, XI, 1892, S. 511.

nicht aus einem Stücke geschmiedet werden können und selbst die beste Verbindung der Trennungsflächen den Widerstand des magnetischen Stromkreises vermehrt.

Die günstigste Querschnittsform der Magnete ist die kreisrunde, weil der Kreis bei gleichem Querschnitte den kleinsten Umfang hat; bei gleicher Drahtlänge (gleicher Anzahl der Windungen) ist deshalb der kreisförmige Querschnitt der größte, der magnetische Widerstand des Stromkreises der kleinste. Da bei gleichem Querschnitte der Kreisumfang des Magneteisens der kürzeste ist, so muss auch die Drahtlänge bei derselben Windungszahl eine kürzere sein, wodurch nicht nur der Widerstand der Magnetwickelung, sondern auch der Kupferpreis kleiner werden.

Die Nachtheile der Anwendung mehrerer Magnetkerne anstatt zweier sind:

a) Die Vermehrung des Kupfergewichtes, also auch die Vergrößerung des Widerstandes der Wickelung.

b) Die gegenseitige Beeinflussung der magnetisirenden Kräfte der Schenkel.

In der folgenden Tafel [1]) sind in der ersten Spalte die Flächen in cm^2 für verschieden gestaltete Querschnittsformen, deren Umfang 1 *m* beträgt, in der zweiten Spalte das Verhältnis der Umfänge gleich großer Querschnitte, wenn der Kreisumfang mit 1 *m* angenommen wird, angegeben.

Hopkinson hat zuerst bewiesen, dass die Anordnung von zwei oder mehreren parallelen Kernen anstatt eines unvortheilhaft ist.

Formen	Umfang = 1 *m*	Gleiche Querschnitte Kreisumfang = 1 *m*
	Inhalt in cm^2	Verhältnisse der Umfänge
Kreis	796	1
Quadrat	625	1·13
Rechteck, Seitenverhältnis 2 : 1	555	1·20
„ „ 3 : 1	469	1·30
„ „ 4 : 1	400	1·41
„ „ 10 : 1	236	1·96
Oval aus einem Quadrate zwischen 2 Halbkreisen	675	1·09
„ „ 2 Quadraten „ „ „	548	1·21
Zwei Kreise, Schnitt durch 2 parallele Kerne	398	1·41
Drei „ „ „ 3 „ „	265	1·73
Vier „ „ „ 4 „ „	199	2·00
Acht „ „ „ 8 „ „	99	2·82
(Dampfdynamo von Edison, Seite 154, Fig. 171.)		

[1]) Hilfsbuch für die Elektrotechnik von Grawinkel und Strecker, S. 284; die dynamoelektr. Maschine v. Silv. P. Thompson (C. Grawinkel), 1890, Seite 313.

Die Tafel gibt Zahlenangaben von verschiedenen Querschnittsformen und mehreren parallel geschalteten Kernen. Die Tafel gibt für einen Kreis 796 cm^2 Querschnitt und für 8 Kreise $\frac{796}{8} = 99$ cm^2 Querschnitt an.

Beispiel: Wie groß ist der Umfang eines Magnetkernes von 749 cm^2 Querschnitt?

$$q = \frac{\pi d^2}{4} = 796, \quad 4 \times 796 = \pi d^2, \quad \pi = 3{\cdot}1416 \doteq 3,$$

$$\pi . d^2 = 3184, \quad d^2 = \frac{3184}{3} \doteq 1061, \quad d = \sqrt{1061} \doteq 32{\cdot}6.$$

Der Umfang $u_1 = \pi . d = 32{\cdot}6 \times 3 = 97{\cdot}8$ cm.

Beispiel: Welcher Kreisumfang entspricht einem Querschnitte von 99 cm^2?

$$q = \frac{\pi d^2}{4} = 99, \; 4 \times 99 = \pi d^2 = 396, \; d^2 = \frac{396}{3} = 132, \; d = \sqrt{132} = 11{\cdot}5.$$

$u_2 = \pi . d = 3 \times 11{\cdot}5 = 34{\cdot}5$ cm; für acht Kerne $u_3 = 8 \times 34{\cdot}5$ cm.

Beispiel: Wie verhalten sich die in den letzten 2 Beispielen berechneten Umfänge u_1 und u_3?

$$u_1 = 97{\cdot}8 \, cm, \quad u_3 = 8 \times 34{\cdot}5 \, cm.$$

Das Verhältnis derselben ist also $\frac{97{\cdot}8}{8 \times 34{\cdot}5}$; dividirt man Zähler und Nenner durch 97·8, so erhält man annähernd (da für $\pi \doteq 3$, anstatt 3·1416 eingesetzt wurde) als das Verhältnis der Umfänge 1 zu 2·82, das in der Tafel angegebene Verhältnis.

Das Eisen der Feldmagnete soll massiv sein. Hohle Magnetschenkel sind schon gegen geringe Schwankungen der Tourenzahl, des Ankerstromes u. s. w. empfindlich. In massiven Magneten entstehen bei den genannten Schwankungen Induktionsströme, welche Aenderungen des magnetischen Feldes entgegenwirken.

Hat das Magneteisen eine faserige Struktur, so muss die Richtung der Faser mit der Richtung der Kraftlinien übereinstimmen und die Polfläche senkrecht schneiden.

Für das Material der Polschuhe gelten die bei den Magneten gemachten Bemerkungen. Die Streuung der Kraftlinien ist möglichst gering, wenn die Polschuhe stark, keine Ecken und Kanten an denselben vorhanden und die Abstände zwischen den Polflächen und dem Eisenkern sehr klein sind.

Das Einbiegen der Polschuhe in das Innere des Ringankers ist mit mechanischen Schwierigkeiten, nicht aber mit besonderen Vortheilen, verbunden.

Wenn der Eisenabstand zwischen dem Eisenkerne und den Polflächen überall genau gleich ist, muss auch das magnetische Feld und die Vertheilung der elektromotorischen Kraft gleichmäßig sein.

Die Feldmagnete sammt Polschuhen dürfen nicht heiß werden, weil sonst eine Verminderung der Magnetisirbarkeit derselben und eine Vermehrung des Widerstandes der Magnetwickelung eintreten.

Ursachen für die Erhitzung der Feldmagnete und Polschuhe sind:

a) Zu hohe Tourenzahlen (zu viel Polwechsel).

b) Das Heißwerden der Magnetwickelung infolge zu hoher Beanspruchung derselben.

c) Wirbelströme. Das Heißwerden der Eckpolstücke, von welchen sich der Anker einer Dynamo wegdreht, rührt von diesen Strömen her. Bei einem Motor werden die anderen beiden Eckpolstücke heiß.

VII. Theorie der dynamoelektrischen Maschinen und Motoren.

149. Verlauf der während einer Umdrehung des Induktors inducirten elektromotorischen Kraft.

In Fig. 250 ist die Anordnung einer Dynamomaschine angedeutet. Der Induktor ist, der Einfachheit der Darstellung halber, nur mit 4 Windungen, beziehungsweise Spulen I, II, III und IV versehen.

Der Verlauf der inducirten elektromotorischen Kraft in den einzelnen Lagen einer solchen Windung während einer Umdrehung derselben ist der folgende:

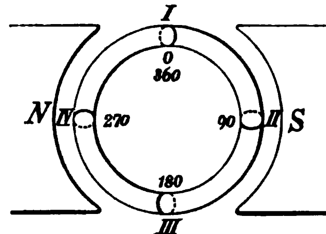


Fig. 250.

1. In der Stellung I (Neutrale Zone) hat die elektromotorische Kraft den Wert 0.

2. In den zwischen I und II gelegenen Stellungen wächst die elektromotorische Kraft von Null bis auf ihren größten Wert.

3. In der Stellung II erreicht die elektromotorische Kraft den größten Wert.

4. In den Stellungen II und III sinkt die elektromotorische Kraft von ihrem höchsten Werte bis auf den Wert Null.

5. In der Stellung III ist der Wert der elektromotorischen Kraft gleich Null und wechselt seine Richtung.

6. In den Stellungen zwischen III und IV steigt die elektromotorische Kraft von Null auf ihren größten Wert.

7. In der Stellung IV erlangt die elektromotorische Kraft ihren größten Wert.

8. In den Stellungen zwischen IV und I sinkt die elektromotorische Kraft von ihrem größten Werte auf den Wert Null.

9. In der Stellung I ist die elektromotorische Kraft wieder gleich Null.

Tragen wir, Fig. 251, diese einzelnen Werte der inducirten elektromotorischen Kräfte auf eine, ebenso wie der Umfang des Ankers, in 360°, in 360 Theile getheilte Gerade auf und verbinden die Endpunkte derselben durch eine krumme Linie (Kurve), so gibt dieses Bild den Verlauf der Induktion in einer Spule in den verschiedenen Lagen einer Windung, während einer Umdrehung, in einer Zeichnung (graphisch) wieder. Eine solche krumme Linie nennt man eine Wellenlinie (Sinuslinie). Die verschiedenen + (oberhalb der Geraden gelegenen) und — (unterhalb der Geraden gelegenen) Werte von 0° bis 360°, Fig. 251,

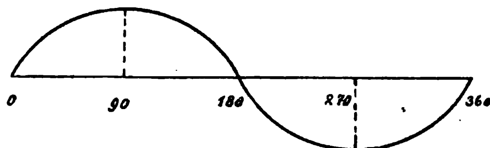


Fig. 251.

umfassen eine Periode des Wechselstromes. Eine Periode ist gleich 2 Stromwechseln. Die Anzahl der Stromwechsel in den Induktorwindungen ist gleich der Anzahl der Polwechsel (dem Cyklus) im Induktoreisen. Die Anzahl der Perioden in der Sekunde heißt die Frequenz. Unter der Phase der elektromotorischen Kraft (beziehungsweise Stromstärke) versteht man die Richtung (+ oder —), die Geschwindigkeit und die Größe derselben an irgend einer Stelle ihres Verlaufes. Die Zeit, die bis zum Eintritte einer gewissen Phase verfließt, heißt Phasenzeit. Die Verzögerung einer Strom- oder Spannungswelle gegen eine andere bezeichnet man als Phasendifferenz (Phasenverschiebung). Wechselströme, welche gleiche Wechselzahl und Wellenlänge haben, nennt man Wechselströme von gleichem Rhytmus; solche Ströme werden z. B. in den sekundären Windungen eines Transformators inducirt. Die Amplitude der Schwingung ist der größte Wert der Spannung (beziehungsweise Stromstärke) innerhalb einer halben Periode.

150. Summirung der einzelnen elektromotorischen Kräfte während einer Umdrehung. Die punktirten Linien in Fig. 251 stellen die aufeinander folgenden elektromotorischen Kräfte während einer

Umdrehung dar. Jene punktirten Linien, die sich oberhalb der Geraden befinden geben die + durch einen Pol, dagegen jene punktirten Linien, die sich unterhalb der Geraden befinden, die — durch den 2. Pol erzeugten elektromotorischen Kräfte an. Summiren wir die einzelnen punktirten Linien in den verschiedenen Theilen der Geraden (die einzelnen elektromotorischen Kräfte), so erhalten wir im verkleinerten Maßstabe das Bild, Fig. 252 a, wobei wir die — elektromotorischen Kräfte, als durch den Kommutator gleichgerichtet, ebenfalls als + angesehen haben.

S. P. Thompson hat die punktirten Linien, Fig. 252 a, um einen Kreis angeordnet, Fig. 252 b, den man sich als einen Schnitt durch den Kommutator denken kann.

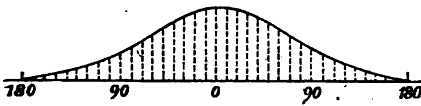


Fig. 252 a.

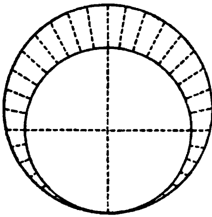


Fig. 252 b.

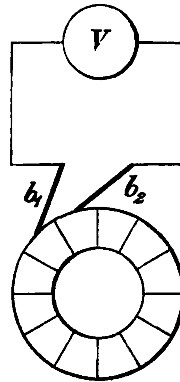


Fig. 253.

Derselbe hat weiters eine Methode, Fig. 253, angegeben, um die zwischen den einzelnen Kommutatorlamellen herrschenden Spannungsdifferenzen versuchsweise zu bestimmen. Zwei isolirt mit einander fest verbundene Bürsten b_1 und b_2 sind so angebracht, dass sie 2 nebeneinander liegende Kommutatorlamellen berühren. Die Bürsten b_1 und b_2 sind mit den Klemmen eines Spannungsmessers V verbunden. Hält man die Bürsten gegen den rotirenden Kommutator (Kollektor), so kann man in jeder beliebigen Stellung zwischen je zwei Kollektorlamellen die Spannung messen.

W. M. Mordey untersucht in ähnlicher Weise den Verlauf der elektromotorischen Kräfte, indem er den einen Draht eines Voltmessers mit einer Bürste, den anderen dagegen mit den aufeinanderfolgenden Kollektorlamellen in Berührung bringt.

Die in den obigen Figuren wiedergegebenen Bilder erhalten wir nur dann, wenn die Maschine fehlerlos ist.

Obige Untersuchungen erscheinen deshalb zu den folgenden Zwecken geeignet:

1. Einfache Auffindung von Fehlern, die sich vorwiegend auf den Anker und die Polschuhe beziehen.

2. Genaue Angabe der nützlichsten Einstellung der Bürsten.

Liegen die Bürsten oben und unten (bei 0° und 180°), Fig. 252b. auf, so herrscht zwichen denselben die größte Spannungsdifferenz; diese sinkt in den Stellungen links und rechts einer zwischen 0° und 180° gezogenen Linie und wird in der Stellung der Bürsten 90° und 90° gleich Null sein.

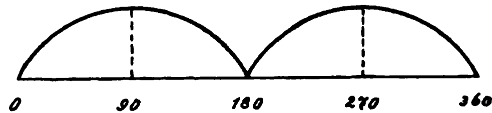


Fig. 254.

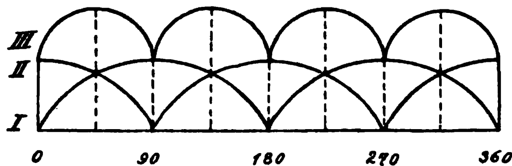


Fig. 255.

Verbindet man deshalb die Kollektorlamellen gleicher Spannung z. B. 45° mit 45°, 90° mit 90°, 135° mit 135° u. s. w., so wird, falls die Maschine fehlerlos ist, kein Strom übergehen.

Diese Methode habe ich insbesondere beim fabriksmäßigen Prüfen dynamoelektrischer Maschinen und Motoren, bei der Untersuchung der Anker außerhalb der Maschinen angewendet, welche in den Stromkreis einer Dynamo eingeschaltet waren. Bei einem solchen stromdurchflossenen Anker muss weiters die Erwärmung der Windungen auf dem ganzen Umfange des Induktors gleichmäßig und das Ankerkupfer von dem Ankereisen wohl isolirt sein.

Durch die Bürsten werden je zwei Kollektorlamellen und dadurch die mit denselben verbundenen Wickelungsabtheilungen kurz geschlossen. Da sich jedoch diese kurzgeschlossenen Abtheilungen in der neutralen Zone befinden, wird in ihnen kein Strom inducirt.

151. Gleichstrom — Wechselstrom. Aus der Fig. 251 ist es ersichtlich, dass der in geschlossenen Drahtwindungen, Fig. 250, erzeugte Strom seine Richtung wechselt, somit Wechselstrom sein muss.

In jedem Induktor wird Wechselstrom erzeugt.

Bringt man jedoch einen Kollektor in Anwendung, so werden die elektromotorischen Kräfte, Fig. 251, durch denselben gleichgerichtet. Der Verlauf eines Gleichstromes ist demnach durch die in Fig. 254, wiedergegebene krumme Linie veranschaulicht. Dieses Bild entspricht 2 Kollektorlamellen.

Besteht der Kollektor aus 2 Lamellen, so gibt es 2 Punkte, 0° und 180°, in welchen die elektromotorische Kraft gleich Null ist und 2 Punkte, 90° und 270°, in welchen die elektromotorische Kraft einen größten Wert (ein Maximum) erreicht.

Sind 4 Kollektorlamellen vorhanden, so ergibt sich, Fig. 255, für das erste Lamellenpaar die Kurve I, für das 2. Lamellenpaar die Kurve II und durch das Summiren der Werte der elektromotorischen Kräfte der beiden Lamellenpaare die Kurve III. Die resultirende Kurve III hat 4 mal den Wert Null und 4 mal einen größten Wert; die einzelnen Schwankungen werden deshalb geringer sein, als wenn nur ein Lamellenpaar vorhanden wäre. Es folgt daraus die Regel:

Je größer die Anzahl der Kollektorlamellen ist, desto geringer sind die Aenderungen in der elektromotorischen Kraft und in der durch sie hervorgerufenen Stromstärke.

Die Anzahl der Kollektorlamellen wird dadurch eingeschränkt, dass die Kosten des Kollektors mit der Anzahl derselben steigen.

152. Bestimmung der inducirten elektromotorischen Kraft, beziehungsweise der wahren Stromstärke in irgend einer bestimmten Phase der Bewegung nach Joubert.

Die Versuchsmaschine war eine Wechselstrommaschine von Siemens & Halske deren Induktorspulen kein Eisen enthielten.

Fig. 256 gibt die Versuchsanordnung wieder.

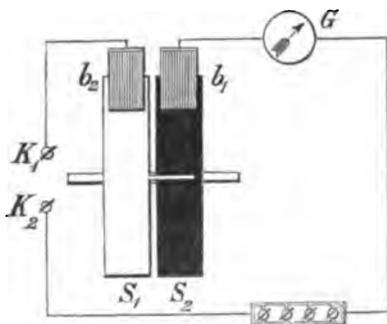


Fig. 256.

Auf der Welle einer Wechselstrommaschine sind die Kupferscheibe S_1 und eine Scheibe S_2 aus einem Nichtleiter mit einem Metallkontakte aufgekeilt. In der Fig. 256 stellt der lichte Streifen auf der schwarzen Scheibe S_2 den Metallkontakt dar. Auf den Scheiben schleifen die Bürsten b_1 und b_2. Die Bürste b_2 ist mit der einen Klemme K_1 der Wechselstrommaschine verbunden. An die verstellbare Bürste b_1 war unter Zwischen-

schaltung eines Galvanometers G die Klemme K_2 der Wechselstrommaschine angeschlossen. Da die Bürste b_1 verstellbar ist, kann das Instrument G die Spannung in ganz bestimmten Lagen der Induktorspulen gegen das magnetische Feld (in bestimmten Phasen der Bewegung) messen. Während jeder Umdrehung, in einer bestimmten Stellung der Bürste b_1, erhält das Galvanometer G Strom von derselben Phase. Erfolgen die Umdrehungen sehr rasch aufeinander, dann gibt das Galvanometer G eine beständige Ablenkung, entsprechend der elektromotorischen Kraft an dieser Stelle. Verschiebt man die Bürste b_1 auf dem ganzen Umfange der Scheibe S_2 und liest die einzelnen Ablenkungen am Galvanometer G ab, so stellen dieselben die elektromotorischen Kräfte in den verschiedenen Phasen der Bewegung dar. Zu beachten ist, dass die Kontaktstelle von Uebergangswiderständen frei sein muss. Gute Dienste leistet die Einschaltung eines Kondensators, welcher durch das Galvanometer G entladen wird. Schaltet man den Joubert'schen Apparat und einen induktionsfreien Normalwiderstand, in welchem sich ein Galvanometer befindet, in den äußeren Stromkreis ein, so misst das Galvanometer die, den eingestellten Kontakten entsprechenden Stromstärken, welche in den bestimmten Phasen der Bewegung den äußeren Stromkreis durchfließen.

153. Bifilare Wickelung. Ein Widerstand ist induktionsfrei, wenn derselbe bifilar gewickelt ist. Denkt man sich einen Draht in der Mitte eingebogen und die so entstehenden beiden gleichen Theile nebeneinander gelegt, so stellt derselbe einen bifilaren Draht dar. Schickt man in die nebeneinander liegenden Enden dieses Drahtes einen Strom, so findet in demselben keine Selbstinduktion statt. Wickelt man einen solchen doppelten Draht auf eine Rolle, dann erhält man einen sogenannte induktionsfreie Widerstandsrolle.

154. Unterschied zwischen Gleich- und Wechselstrom.

Der Unterschied zweier Gleichströme besteht nur in den verschiedenen Stromstärken. Fließen zwei oder mehrere Gleichströme durch denselben Draht, so ist die gesammte, resultirende Stromstärke gleich der Summe der Stromstärken der einzelnen Gleichströme.

Zwei verschiedene Wechselströme zeigen folgende Eigenthümlichkeiten:

1. Die mittlere Stromstärke der beiden Wechselströme kann, sowie bei Gleichströmen, ungleich sein.

2. Die Periode der einzelnen Ströme kann verschieden sein.

Macht z. B. eine 12-polige Wechselstrommaschine 1200 Umdrehungen in der Minute, so ist die Anzahl der Polwechsel in der

Minute 14400, die Anzahl der Polwechsel in der Sekunde 240 und die Dauer einer Periode $\frac{1}{240}$ Sekunde.

Beträgt die Umdrehungszahl einer zweiten, z. B. 16-poligen Wechselstrommaschine, 600 in der Minute, so ist die Anzahl der Polwechsel in der Minute 9600, die Anzahl der Polwechsel in der Sekunde 160, die Anzahl der Perioden in der Sekunde 80 und die Dauer einer Periode $\frac{1}{80}$ Sekunde.

3. Die Perioden der beiden Wechselströme sind gleich, treten jedoch nicht gleichzeitig in ihre größten Werte ein, gehen also auch nicht gleichzeitig durch ihre Werte Null und die zwischen diesen beiden Werten gelegenen Werte hindurch, d. h. die beiden Wechselströme haben eine verschiedene Phase.

Vereinigt man z. B. die Windungen I und III, Fig. 250, zu einem, die Windungen II und IV zu einem zweiten Stromkreise, so wird im 1. Stromkreise in der gezeichneten Stellung keine Induktion herrschen, während im 2. Stromkreise die Induktion ihren größten Wert annimmt. Da die beiden Windungspaare 90° von einander abstehen, ist die Phasendifferenz zwischen den beiden Strömen 90°.

In den Fig. 257 a und 257 b sind je $1^1/_2$ Perioden solcher Wechselströme durch ihre Wellenlinien wiedergegeben. Die Figuren zeigen, dass der eine Strom immer den Wert Null hat, während der andere seinen größten Wert besitzt.

In A, Fig. 257 a, besitzt der 1. Wechselstrom den Wert Null, während der 2. zu derselben Zeit in A_1, Fig. 257 b, seinen größten + Wert erlangt.

In B, Fig. 257 a, besitzt der 1. Wechselstrom seinen größten + Wert, während der 2. zu derselben Zeit in B_1, Fig. 257 b, den Wert Null annimmt.

In C, Fig. 257 a, besitzt der 1. Wechselstrom den Wert Null, während der 2. in C_1, Fig. 257 b, seinen größten — Wert erreicht u. s. w.

Denkt man sich nun diese beiden Wechselströme durch einen und denselben Leiter fließend, so summiren sich in jedem Augenblicke die gleichzeitigen Stromstärken.

In Fig. 257c geben die punktirten Wellenlinien I und II die beiden einzelnen Wechselströme, die stark ausgezogene Wellenlinie III den resultirenden Wechselstrom wieder.

Aus der Fig. 257 c, geht hervor:

1. Die resultirenden größten Stromstärken sind größer, als jene der einzelnen Wehselströme.

2. Die größte resultirende Stromstärke ist kleiner, als die Summe der größten Stromstärken der einzelnen Wechselströme.

3. Die Periode des resultirenden Wechselstromes ist dieselbe, wie die der einzelnen Wechselströme.

4. Die Phase des resultirenden Wechselstromes ist eine andere als jene der einzelnen Wechselströme, d. h. der resultirende Wechselstrom und die einzelnen Wechselströme gehen nicht an derselben Stelle (zu derselben Zeit) durch ihre größten, mittleren und Nullwerte hindurch.

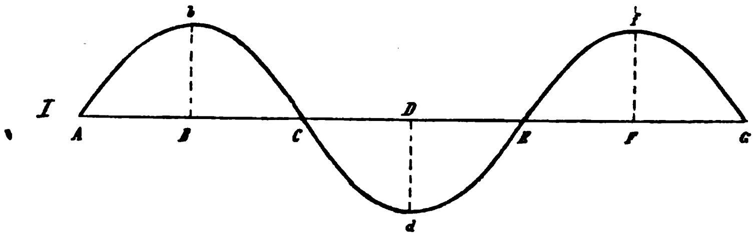


Fig. 257 a.

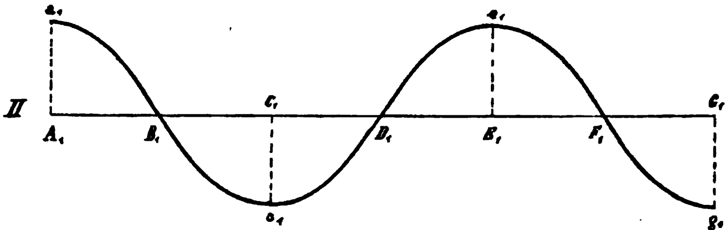


Fig. 257 b.

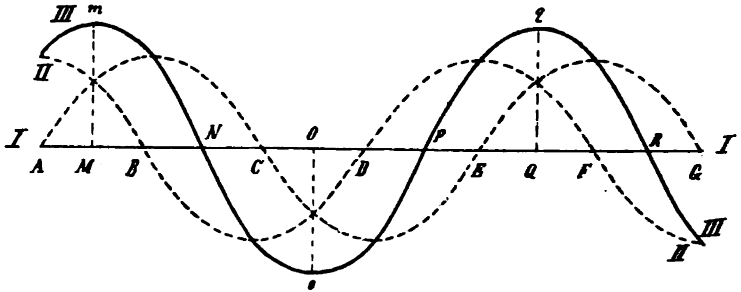


Fig. 257 c.

Der resultirende Wechselstrom geht zwischen den um 90° gegeneinander in der Phase verschobenen einzelnen Strömen durch die größten, mittleren und Nullwerte hindurch. Der resultirende Wechselstrom ist somit um 45° gegen die einzelnen Wechselströme in der Phase verschoben. Solche Phasenverschiebungen (Phasendifferenzen) finden im Allgemeinen zwischen zwei oder mehreren Wechselströmen statt.

155. Selbstinduktion. Es ist zur Erzeugung einer Phasendifferenz nicht erforderlich, dass man in einen Leiter mehrere Wechselströme sendet. Eine solche Phasendifferenz wird auch dann hervorgebracht, wenn man einen einzigen Wechselstrom in eine Induktionsspule schickt, weil dieser Wechselstrom einen Extrastrom durch Selbstinduktion erzeugt, der ihm entgegenwirkt.

Die elektromotorische Kraft der Selbstinduktion ist fortwährenden, augenblicklichen Aenderungen unterworfen und wechselt während der Zeitdauer einer Periode einmal ihre Richtung (ihr Zeichen).

Die resultirende Stromstärke wird deshalb ihre größten Werte erlangen, wenn die elektromotorische Kraft der Selbstinduktion die größten Aenderungen erleidet (Die Werte Null durchschreitet).

Der größte Wert der inducirenden elektromotorischen Kraft und der Stromstärke werden deshalb nicht gleichzeitig eintreten und der größte Wert der Stromstärke muss geringer sein, als wenn keine Selbstinduktion vorhanden wäre.

Jene elektromotorische Kraft der Selbstinduktion, welche durch eine Aenderung der Stromstärke von 0 bis 1 in absoluten Einheiten hervorgerufen wird, nennt man den Selbstinduktionscoëfficienten und bezeichnet denselben mit dem Buchstaben L.

Die Ursachen der Aenderungen der Selbstinduktion sind:

1. Die Aenderung der geometrischen Gestalt der Induktionsspulen.

2. Das Anwachsen der Selbstinduktion mit der Anzahl der Windungen der Spule.

3. Das Steigen der Selbstinduktion, wenn sich in der Spule oder im äußeren Stromkreise Eisen befindet.

In concentrischen Kabeln erscheint, ähnlich wie in bifilaren Drähten, die Selbstinduktion aufgehoben; erstere werden deshalb vortheilhaft zur Fortleitung von Wechselströmen benützt.

Die Selbstinduktion bewirkt in starken Leitern eine ungleiche Vertheilung des Stromes in den einzelnen Querschnitten. Diesem Uebelstande wird dadurch abgeholfen, dass man anstatt eines starken Leiters mehrere von einander isolirte schwächere Leiter wählt.

Schaltet man eine Induktionsspule in den Anker oder in die Feldmagnete eines Wechselstrommotors ein, so kann man die Umdrehungszahl ohne stromkonsumirenden Widerstand reguliren; ein Verlust an Strom findet dabei nicht statt (Wechselstrommotor von Dèri). Eine Induktionsspule gleicht, einer Wechselstrombogenlampe vorgeschaltet, die Schwankungen im Lichtbogen derselben aus, ohne Strom (beziehungsweise Energie) zu tilgen. Man nennt solche Widerstände, welche durch Selbstinduktion wirken, energielose Widerstände.

Die Selbstinduktion tritt in jedem sich bewegenden Metalltheile eines Induktors auf, ebenso in den Eisenkernen, ja sogar in der Antriebswelle.

In jedem Eisentheilchen entsteht in dem Augenblicke, in welchem es in die Lage der Umkehrung des Magnetismus gelangt, ein Strom, der diese Umkehrung des Magnetismus verzögert. Dadurch wird das Eisen scheinbar träge in Bezug auf eine Aenderung im Magnetismus und erwärmt. Diese Magnetisirung (elektrostatische Hysteresis) ist bei hohen Wechselzahlen sehr bedeutend. Man theilt deshalb den Eisenkern der Dynamo in von einander durch einen Isolator (in der Regel Papier), getrennte Scheiben.

Hochgespannte Ströme, z. B. die Magnetströme von hochgespannten Nebenschlussmaschinen, darf man nie plötzlich unterbrechen, denn die elektromotorische Kraft des Extrastromes (der Selbstinduktion) würde die Isolationsmittel durchschlagen.

Die Selbstinduktion hemmt Stromänderungen, verlangsamt also das Anwachsen und Abfallen des Stromes; man nennt sie deshalb auch elektrische Trägheit.

Die Selbstinduktion wirkt ähnlich wie ein Widerstand, welcher den eigentlichen Ohm'schen (ohne Strom gemessenen) Widerstand erhöht.

156. Selbstinduktion und Kapacität. Der Kondensator besitzt eine Art negativer Selbstinduktion. In einem Stromkreise, innerhalb dessen sich eine Kapacität befindet, wird der Stromwechsel beschleunigt, die Selbstinduktion eines Stromkreises dagegen verzögert denselben. In Telephonkreisen, welche eine Kapacität enthalten, werden gewisse Wellen beschleunigt, Selbstinduktion dagegen verzögert in solchen Stromkreisen bestimmte Wellen. In beiden Fällen wird das Gespräch undeutlich. Durch passende Wahl von Selbstinduktion und Kapacität wird jede Störung vermieden.

Während die Selbstinduktion wie das Anwachsen eines Widerstandes wirkt, gilt von der Kapacität fast das Umgekehrte.

Könnte man sämmtliche Abtheilungen einer Dynamo durch einen Kondensator überbrücken, so würde durch die Kapacität desselben der Widerstand, während die Abtheilungen unter die Bürsten kommen, verkleinert.

Beim Rhumkorff'schen Funkeninduktor kann man durch das Einschalten eines entsprechend großen Kondensators die Funkenbildung, die beim Oeffnungsfunken eintritt, vollständig vermeiden, dagegen werden dann die Schließungsfunken sehr kräftig, weil sich der Kondensator beim Schließen des Apparates entladet. Falls ein Kondensator Anwendung findet, wählt man seine Abmessungen so, dass die beiden Funken gleich stark ausfallen.

Der Kondensator hat den Zweck, den Verlauf der Induktionsströme zu verkürzen, so die in der Zeiteinheit hervorgerufene elektromotorische Kraft zu steigern, ändert aber den Summenstrom, der in der sekundären Rolle auftretenden, Induktion nicht. Eine genaue Erklärung dieser Erscheinung gab Rayleigh (1876). Derselbe beobachtete die durch eine Leydnerflasche erzeugten Schwingungen, während in die Leitung zugleich eine Induktionsspule und ein Kondensator eingeschaltet waren. Er zeigte durch vielfache Versuche, dass die Kapacität und die Selbstinduktion entgegengesetzte Rollen spielen.

Ein Kondensator hat demnach insbesondere folgende Eigenschaften:

1. Der Kondensator beschleunigt die Phasen der Wellen.

2. Der Kondensator amplificirt die Größe (vergrößert die Amplituden) der Wellen.

Die Selbstinduktion hat die entgesetzten Eigenschaften.

Zwischen den Kondensatorplatten findet ein Durchdringen der Elektricität statt; die dadurch entstehenden Verluste sind bei geringen Wechselzahlen ganz unbedeutend.

Tönt ein Kondensator, so ist er in Gefahr. Paraffinirtes Papier erhitzt sich sehr stark, tönt leicht und fängt bald an zu brennen.

Auf der elektrischen Ausstellung im Krystallpalaste zu London (1892) hatte die Firma Swinburne & Co. in Teddington[1]) einen für Versuchszwecke bestimmten Wechselstromkondensator für 130.000 Volt ausgestellt.

157. Grundgleichung der Dynamomaschinen.

Bezeichnungen:

E = Elektromotorische Kraft im Mittel,

n = Anzahl der Umdrehungen in der Sekunde,

C = Anzahl der Leiter auf dem äußeren Umfange des Induktors (Giltig für Siemens-Trommeln und Gramme-Ringe),

N = Gesammtzahl der magnetischen Kraftlinien im Eisenkerne des Induktors.

Bewegt man einen Leiter innerhalb eines gleichförmigen (homogenen) magnetischen Feldes, so ist die elektromotorische Kraft E der Bewegung in CGS Einheiten (10^{-8} Volt) durch die Anzahl der Kraftlinien gegeben, die der Leiter in einer Sekunde schneidet.

Beträgt die Gesammtzahl der Kraftlinien des magnetischen Feldes N (fließen N Kraftlinien durch den Eisenkern des Ankers), so schneidet jeder Leiter während einer Umdrehung die Gesammtzahl dieser Kraft-

[1]) Elektrotechnische Zeitschrift, Berlin 1892, Seite 267.

linien N zweimal; d. h. die Anzahl der von einem Leiter am Umfange des Induktors während einer Umdrehung geschnittenen Kraftlinien $= 2N$.

Macht der Leiter n Umdrehungen in der Sekunde, so werden von demselben in dieser Zeit $2nN$ Kraftlinien geschnitten.

Die elektromotorische Kraft setzt sich nun zusammen aus der Summe der elektromotorischen Kräfte der hintereinander geschalteten Drähte. Die Anzahl der hintereinander geschalteten Drähte ist gleich der Hälfte sämmtlicher Leiter (Drähte) am Umfange des Induktors, also gleich $\frac{C}{2}$, weil ja nur immer die Hälfte der Drähte des Ankers hintereinander und diese beiden Hälften dann parallel geschaltet sind.

Die Anzahl der von der Hälfte der Leiter am Umfange $\left(\frac{C}{2}\right)$ geschnittenen Kraftlinien stellt sich demnach auf $2nN \,.\, \frac{C}{2} = nCN$; dieses Produkt gibt zugleich die mittlere elektromotorische Kraft in CGS Einheiten an.

Da 1 CGS Einheit der elektromotorischen Kraft $= 10^{-8}$ Volt $= \frac{1}{10^8}$ Volt, so erhält man für die mittlere elektromotorische Kraft in Volt

$$E = \frac{n \,.\, C \,.\, N}{10^8} \text{ Volt.}$$

158. Einführung der Winkelgeschwindigkeit in die Grundgleichung. ω bedeute die Winkelgeschwindigkeit, d. h. den von einem Leiter auf dem Umfange des Induktors in einer Sekunde zurückgelegten Weg.

Während einer Umdrehung legt der Leiter den Weg $2\pi r$ oder, wenn wir den Radius r (den Abstand der Mittellinie des Leiters von der Mittellinie des Induktors) als Einheit annehmen ($r = 1$ setzen), den Weg 2π zurück.

Macht der Leiter in der Sekunde n Umdrehungen, so ist der von ihm in der Sekunde zurückgelegte Weg, d. h. seine Winkelgeschwindigkeit:

$$\omega = 2\pi n \text{ oder}$$

$$n = \frac{\omega}{2\pi}.$$

Mit Benützung dieser Beziehung geht die Grundgleichung:

$$E = n \,.\, C \,.\, N \quad CGS \text{ Einheiten}$$

in die Gleichung

$$E = \frac{\omega}{2\pi} \,.\, C \,.\, N \quad CGS \text{ Einheiten über.}$$

VIII. Berechnung dynamoelektrischer Maschinen und Motoren.

159. Versuchsmaschinen. Die Grundlage für die Berechnung von Dynamomaschinen, welche alle Anforderungen erfüllen sollen, bildet die Erfahrung auf dem Gebiete des Dynamomaschinenbaues und die Kenntnis der bestehenden Theorien. Um es selbst dem Anfänger zu ermöglichen Dynamomaschinen zu berechnen, habe ich mich bemüht, die wichtigsten Erfahrungen, die sich in meiner vieljährigen praktischen Thätigkeit auf dem Gebiete des Dynamomaschinenbaues stets bewährt haben, zusammenzustellen. Nur wer ausgeführte und erprobte Maschinen nachgerechnet und konstruirt hat, wird imstande sein, erfolgreich selbst zu schaffen. Ich sah mich deshalb veranlasst, in der folgenden Tafel die Angaben über einige von mir ausgeführte Versuchsmaschinen in runden Zahlen wiederzugeben.

Tafel.

Leistung		Kilowatt	3·85	13·2	27·5
		Volt	110	110	110
		Ampère	85	120	250
		Umdrehungen in der Minute	900	850	800
Anker	Durchmesser des Ankereisens in *cm*	Aussen	26	40	46·5
		Innen	13	23	23
		Länge des Ankereisens in *cm*	17	28	35
		Weglänge der Kraftlinien in *cm*	30·6	49·5	54·5
		Drahtstärke in *cm*	0·25	0·55	0·8
		Gesammtwiderstand in Ohm kalt	0·38	0·03	0·012
		Gesammtdrahtgewicht in *kg* blank	13·5	38	70
		Anzahl der Lagen	2	1	1
		Anzahl der Abtheilungen	44	50	50
		Anzahl der Windungen in der Abtheilung	3	2	2
		Anzahl der Drähte am Umfange	528	200	168

Tafel.

Magnete	Durchmesser der Bohrung in *cm*	28·1	42·4	49·5
	Querschnitt in cm^2	227	616	962
	Abstand zwischen den Schenkeln in *cm*	10·8	13·8	16
	Wickelungshöhe in *cm*	20	27	32
	Weglänge der Kraftlinien in *cm*	111·8	173	240
	Magnetampère	3	5·5	6·1
	Drahtstärke in *cm*	0·14	0·22	0·23
	Gesammtwiderstand in Ohm	35	20	18
	Drahtgewicht eines Schenkels in *kg*	17	55·5	71
	Anzahl der Lagen eines Schenkels	16	18	18
	Anzahl der Windungen in der Lage	116	114	114
	Magnetkörper in *kg*	220	900	1500
Güteverhältnis in %	Elektrisches	76	90·4	95
	Mechanisches	71	86	91·5
Raumbedarf	Länge in *cm*	600	1200	2100
	Breite in *cm*	300	750	850
	Höhe in *cm*	650	1000	1100
Gewicht in *kg*	Nettogewicht der ganzen Maschine	350	1500	2400
	Gesammtkupfergewicht	47	146	220

Die Magnetform dieser Maschinen gehört der 1. Gruppe, Fig. 258, an. Die Induktoren sind glatte Siemenstrommeln, die beiden hintereinander geschalteten Magnetwickelungen parallel an den Induktor angeschlossen (Nebenschlussmaschinen). Die Eisenkerne der Induktoren waren mittelst eines Kreuzes aus Messing auf die Welle aufgekeilt.

Bei einer definitiven Ausführung würde sich das direkte Aufsetzen der Eisenkerne auf die Welle empfehlen. Unter Aufwendung von mehr Kupfer auf den Magneten lässt sich das Güteverhältnis der Versuchsmaschinen steigern.

160. Verwertung der Versuchsmaschinen für die Berechnung sämmtlicher Gleichstrommaschinen. Die Angaben in der Tafel können aus den folgenden Gründen bei sämmtlichen Dynamo für Gleichstrom, gleiche Eisenquerschnitte vorausgesetzt, Anwendung finden:

1. Für Serien-, Nebenschluss- und gemischt geschaltete Maschinen sind die magnetischen Felder (Anzahl der Ampèrewindungen auf dem Anker und auf den Magneten) bei allen diesen Maschinen für dieselbe Leistung annähernd gleich stark.

2. Die magnetischen Felder können bei allen Magnetformen für dieselbe Leistung annähernd gleich stark gewählt werden.

3. Mehrpolige Maschinen sind als mehrfache zweipolige Maschinen anzusehen.

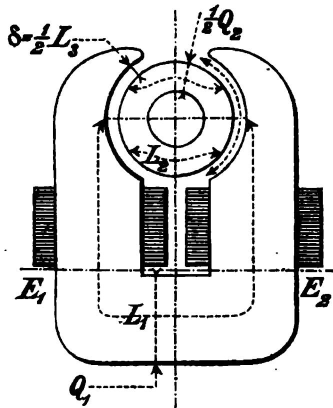


Fig. 258.

161. Die gestellte Aufgabe. Bei der Berechnung einer Dynamo handelt es sich immer darum, zusammengehörige Werte von Volt, Ampère und Umdrehungen für die bestimmte normale Leistung im Vorhinein anzugeben.

162. Umrechnung einer Maschine auf eine gleich leistungsfähige anderer Spannung. Eine Versuchsmaschine hat die Leistung 110 Volt, 120 Ampère also 13200 Watt bei 850 Umdrehungen. Folgende praktische Regeln ermöglichen dann die Berechnung irgend einer Gleichstrommaschine von 13200 Watt bei 850 Umdrehungen:

1. Für gleichleistungsfähige Maschinen können derselbe Magnetkörper und Ankereisenkern Verwendung finden.

2. Wird eine Maschine von höherer auf eine andere niederer Spannung umgerechnet, so kann bei hohen Unterschieden in der Spannung die Leistung bis 20% höher sein, weil

a) die Querschnitte der Drähte mit den linearen Dimensionen wachsen und

b) die Isolation einen geringeren Raum einnimmt.

163. Aenderung der Umdrehungszahl bei gleicher Leistung. Soll eine der in der Tafel angegebenen Versuchsmaschinen auf eine Maschine umgerechnet werden, welche dieselben Watt, aber andere Umdrehungen gibt, dann gilt die Regel:

Die Eisen- und Kupfergewichte, die Stärke des magnetischen Feldes, der Ankerdurchmesser und die Anzahl der Ankerwindungen sind der Umdrehungszahl umgekehrt proportional.

164. Maschinen für hohe Leistungen. Ist eine Maschine mit einer höheren Leistung als die der Versuchsmaschinen zu berechnen, dann leisten folgende Regeln gute Dienste:

1. Eine Maschine, welche das $1^1/_2$fache Eisen- und Kupfergewicht hat, leistet das Doppelte.

2. Eine Maschine, von doppeltem Eisen- und Kupfergewicht leistet das Doppelte bei geringerer Umdrehungszahl (rund 2 : 3)

3. Maschinen für eine Leistung von 1500 bis 100000 Watt geben 7 bis 14 Watt für je 1 *kg* des Gesammtgewichtes der Maschine. Dabei sind mittlere Umdrehungszahlen, den angegebenen Versuchsmaschinen entsprechend, vorausgesetzt.

Maschinen mittlerer Größen geben demnach beiläufig 10 Watt für je 1 *kg* des Gesammtgewichtes.

165. Umdrehungszahl. Je mehr Umdrehungen eine Maschine macht, desto größer ist ihre Leistung. Die Leistung wächst so, wie die Umdrehungszahl.

Lässt man in einer Dynamo oder in einem Elektromotor die Magnete und den Anker gegeneinander laufen, so kann man die Umdrehungszahl auf die Hälfte herabdrücken.

166. Maschinen mit Nuten- und Lochankern. Maschinen mit Nuten- und Lochankern geben bei gleichen Eisenkernabmessungen, gleicher Wickelung des Ankers und bei sonst gleicher Maschine eine geringere Umdrehungszahl (2 : 3).

167. Wahl der zulässigen Beanspruchung. Kupfer (und andere) Drähte von kleinerem Durchmesser können stärker beansprucht werden, als solche von größerem Durchmesser.

Bei Drähten von rund 5 *mm* Durchmesser beträgt die mittlere Beanspruchung für den Anker 3 Ampère für 1 mm^2. Litzenförmige Ankerwindungen können bei demselben Gesammtkupferquerschnitte einer Windung stärker beansprucht werden, als massive Drähte; letztere sind höchstens bis zu 8 *mm* Durchmesser anwendbar, weil sonst die Wirkung der Wirbel- (Foucault-) Ströme in denselben zu stark wird. Anstatt dicker Drähte verwendet man besser parallel laufende schwächere Drähte oder Litzen von unbedeutend geringerem Gesammtquerschnitte.

Für die Magnetdrähte gelten als mittlere Beanspruchung 2 Ampère für 1 mm^2.

Die bisherigen Beanspruchungen gelten für glatte Anker. Nuthen- und Lochanker können stärker beansprucht werden; für einen 5 *mm* Draht gelten hier 4 Ampère für 1 *mm*².

168. Isolation. Die Isolation der Ankerdrähte ist bei schwächeren Drähten dünner, als bei starken Drähten. Für mittlere Drähte (4 *mm* Durchmesser) kann man 0·5 *mm* für jeden Ankerdraht rechnen. Die Magnetdrähte sind in der Regel bei Nebenschlussmaschinen (und bei den Nebenschlusswickelungen der Compoundmaschinen) schwächer als 4 *mm*. Für mittlere Leistungen (rund 15000 Watt) beträgt der Drahtdurchmesser auf den Magneten rund 2 *mm*; dann genügt eine Isolation von 0·4 *mm* für jeden Draht. Höhere Spannungen erfordern besondere Isolation.

Die Scheiben, aus denen die Anker aufgebaut sind, bestehen aus weichstem Eisenbleche. Die einzelnen Scheiben sind 0·3 bis 0·5 *mm* dick und durch dünnes Papier von einander isolirt. Bei 0·5 *mm* Eisenblechen beträgt die Isolation ungefähr $^4/_9$ der Länge des Ankers (rund 7%); 100 Bögen solchen Papieres sind etwa 4 *mm* dick.

Für niedere Spannungen werden in der Regel die Anker und Magnetdrähte nur mit Baumwolle umsponnen. Für höhere Spannungen dagegen müssen diese mit isolirenden Flüssigkeiten (Schellak in reinem Spiritus aufgelöst u. s. w.) getränkt werden; besser als baumwoll- sind zwirn- und noch besser seidenumsponnene Drähte. Für sehr hohe Spannungen müssen sehr gut isolirende Zwischenlagen angewendet werden. Gegen Feuchtigkeit schützen Drähte in Gummi-, gegen Hitze solche in Asbesthüllen.

169. Anzahl der Lagen. Die Anker der Versuchsmaschinen haben im Verhältnis zu ihrer Leistung große Durchmesser. Selbst für kleinere Durchmesser, bis zu Leistungen von 10000 Watt herab, reicht 1 Lage von Drähten aus,

von 10000 Watt bis 3000 Watt herab sind 2 Lagen,
von 3000 „ „ 1500 „ „ „ 4 „ und
von 1500 „ „ 200 „ „ „ 4 bis 8 Lagen

erforderlich.

170. Anzahl der Abtheilungen. Die Anzahl der Abtheilungen steigt mit der Spannung proportional. Für mittlere Spannungen (100 bis 200 Volt) genügen beiläufig 50 Abtheilungen (Kollektorsegmente). Je größer die Anzahl der Abtheilungen ist, desto besser arbeitet die Maschine; die Kosten des Kollektors jedoch steigen mit der Anzahl derselben.

171. Magnetisches Feld. Je stärker das magnetische Feld einer Maschine ist, desto besser arbeitet dieselbe. Das magnetische Feld muss so lange verstärkt werden, bis die Maschine, wenn dieselbe keine sonstigen Fehler zeigt, keine Funken gibt und die Bürsten annähernd senkrecht auf der Verbindungslinie der Pole auf dem Kollektor liegen. Das Produkt Ampère mal Windungen mal Ankereisenquerschnitt soll kleiner sein, als das Produkt der entsprechenden Größen auf den Magneten (rund 2 : 3).

172. Wirksamer Ankerdraht. Inducirt wird nur jener Ankerdraht, welcher am äußersten Umfange (also direkt zwischen dem Eisenkerne des Ankers und den Polflächen) liegt.

173. Anker. Aus der Grundgleichung

$$E = \frac{n.C.N}{10^8}$$

geht hervor, dass die Spannung E der Dynamo der Umdrehungszahl n. der Anzahl der Ankerleiter C und der Anzahl der Kraftlinien N gerade proportional ist. Je größer diese 3 Faktoren sind, desto größer ist die Leistung der Maschine.

Obige Gleichung bildet die Grundlage für die theoretische Berechnung elektrischer Maschinen und Motoren.

Für die Versuchsmaschine zu 13200 Watt lautet die Grundgleichung:

$$N = \frac{7{\cdot}85.10^8}{200} = 4000000 \text{ Kraftlinien.}$$

Die Anzahl der Kraftlinien für 1 cm^2 Ankereisenquerschnitt ist zweckmäßig höchstens 12000.

Bei der Versuchsmaschine zu 13200 Watt ergibt sich der Wert $\frac{4000000}{442} = 9500$ Kraftlinien für 1 cm^2.

Zu viele Ampèrewindungen auf dem Anker verursachen leicht Funkenbildung. Gute Resultate geben die Querschnitte der Versuchsmaschinen. Die Anzahl der Ampèrewindungen beträgt bei der Versuchsmaschine zu 13200 Watt, 12600, die Anzahl der Ampèrewindungen auf den Magneten rund 24000.

174. Eisenquerschnitt. Für die Bemessung der Eisenquerschnitte ist der Verlauf der magnetischen Kraftlinien bestimmend. Dort wo eine gleiche Anzahl von Kraftlinien fließen, muss auch dergleiche Eisenquerschnitt vorhanden sein.

So muss z. B. bei der Maschine, Fig. 258, der Magneteisenquerschnitt auf dem ganzen Wege der Kraftlinien derselbe sein. Durch den Anker fließen die Kraftlinien in zwei parallelen Zweigen (Hälften). Der gesammte Eisenquerschnitt des Ankers muss deshalb, bei gleichem Materiale, dem Querschnitte des Magneteisens gleich sein.

Da bei der Maschine, Fig. 259, zwei magnetische Stromkreise vorhanden sind, muss der Querschnitt des Magneteisens dem halben Querschnitte des Ankereisens gleich sein u. s. w.

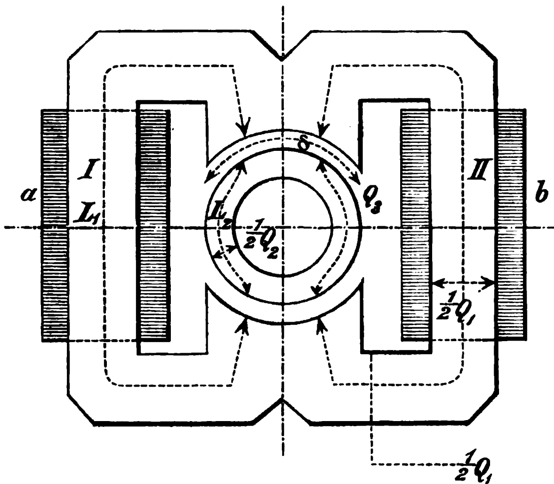


Fig. 259.

175. Feldmagnete. Das Material für die Feldmagnetkerne liefern Gusseisen, Gussstahl und Schmiedeeisen. Das beste Material ist Schmiedeeisen, das billigste Gusseisen. Gussstahl hat beinahe dieselbe Güte als Schmiedeeisen, unterliegt jedoch großen Schwankungen.

Die magnetischen Widerstände von Gusseisen zu Schmiedeeisen (und Gusstahl) verhalten sich annähernd wie 2 : 3. Für Gusseisen wählt man in der Regel 7000, für Schmiedeeisen und Gussstahl höchstens 12000 Kraftlinien für 1 cm^2. Nimmt man den Streuungscoëfficienten mit 1·5 an (werden 50% der Kraftlinien an die Luft verstreut), so ist die Anzahl der in den Magneten erforderlichen Kraftlinien = 4000000 . 1·5 = 6000000 (für die Versuchsmaschine zu 13200 Watt) und für 1 cm^2

$$6000000 : 616 \doteq 9800 \text{ Kraftlinien.}$$

176. Wechselstrommaschinen. Die Wechselstrommaschinen haben entweder eigene oder fremde Erregung. Die eigene Erregung besteht darin, dass ein Theil des Ankerstromes (der Strom einer oder mehrerer Ankerspulen) die Magnete erregt. Bei der fremden Erregung speist eine Gleichstrommaschine die Magnete der Wechselstrommaschine. Verwendet man ein und dieselbe Maschine mit einem Kommutator und nimmt Gleichstrom ab, so ist die Leistung und der Kraftbedarf bei einem bestimmten äußeren Widerstande größer, als wenn man dieselbe Maschine mit 2 oder mehreren Schleifringen versieht und Wechselstrom oder Wechselströme abnimmt. Das Gesammtgewicht der Wechselstrommaschinen und Motoren stellt sich, dasselbe Gesammtgüteverhältnis der Maschinen vorausgesetzt, höher, als das Gewicht gleichgroßer Gleichstrommaschinen und Motoren.

177. Motoren. Die für Dynamomaschinen angegebenen Regeln gelten gleichzeitig für Elektromotoren; auch werden nur für besondere Zwecke andere Modelle gewählt.

Speist man eine Dynamo mit ihrer eigenen Leistung, so gibt sie bei denselben Umdrehungen eine Kraft, die sich rund 10% niederiger stellt, als die zum Antriebe der Dynamo erforderlichen Pferdestärken. Schaltet man einen Motor ohne Zwischenschaltung von Widerständen in eine Dynamo ein, so wird die Stromstärke dem niederen Ohm'schen Widerstande, der sich dann in dem Stromkreise befindet, entsprechend, sehr groß sein. Sobald der Anker des Motors rotirt, wird in ihm eine elektromotorische Gegenkraft erzeugt, so zwar, dass bei der Berechnung der sich nun ergebenden Stromstärke in das Ohm'sche Gesetz nicht mehr die Maschinenspannung, sondern die Differenz der Spannungen der primären und sekundären Maschine einzusetzen ist. Die Stromstärke wird demnach so lange sinken, bis sich die Stromverhältnisse auf die Belastung eingestellt haben. Steigt dann die Belastung, so sinken die Umdrehungen des Motors, die elektromotorische Gegenkraft wird kleiner und die Sromstärke größer. Für kurze Zeit nimmt jeder Elektromotor die mehrfache Belastung. Beim Serienmotor ändern sich die Stromstärken im Anker und in den Magneten gleichzeitig; dadurch werden die Aenderungen in den Umdrehungen und Zugkräften große Schwankungen erleiden. Der Motor wird demnach auch sehr rasch und kräftig anlaufen, die elektromotorische Gegenkraft rasch anwachsen, bis sich die normalen Stromverhältnisse mit der normalen Belastung einstellen. Große Aenderungen in der Belastung bewirken große Aenderungen in den Umdrehungszahlen. Der Nebenschlussmotor hat ein beständiges magnetisches Feld (die Anzahl der Ampèrewindungen in den Magneten bleibt unverändert). Die Zugkraft dieses Motors ist demnach der Stromstärke sehr

nahe proportional. Die Aenderungen in den Umdrehungszahlen werden langsamer erfolgen, als beim Serienmotor; Aenderungen in der Belastung ändern in geringem Maße die Umdrehungszahlen.

Die verschieden geschalteten Motoren verhalten sich demnach folgendermaßen:

1. Der Serienmotor lauft sehr schnell an, ändert aber schon bei geringen Belastungsschwankungen seine Umdrehungen.

2. Der Nebenschlussmotor lauft langsamer an und behält nahezu beständige Umdrehungen.

3. Der Compoundmotor vereint, da die Magnete beiderlei Wickelungen besitzen, die Eigenschaften beider Motoren.

Die Wahl der Schaltung wird stets den praktischen Bedürfnissen angepasst.

Zur Verhütung zu starker Ströme beim Anlaufen und zur Regulirung der Umdrehungszahlen in den weitesten Grenzen dienen Widerstände im Stromkreise zwischen Dynamo und Motor. Da diese Widerstände Strom konsumiren, sollen sie nur zu obigen Zwecken und für kurze Zeit Verwenduug finden; bei normaler Belastung sind dieselben stets kurzzuschließen.

178. Bemerkungen. Die Berechnung der Strom-, Widerstands- und Güteverhältnisse sind aus dem Früheren (§ 154) zu entnehmen. Daten über verschiedene Nebenrechnungen geben die Versuchsmaschinen.

IX. Berechnung der Magnetwickelung dynamoelektrischer Maschinen und Motoren.

179. Der magnetische Stromkreis. Rowland[1]) hat das Ohm'sche Gesetz auf den magnetischen Stromkreis angewendet. Er führte in das Ohm'sche Gesetz anstatt der Stromstärke die Gesammtzahl der Kraftlinien Z, anstatt der Spannung die magnetisirende Kraft (Anzahl der Ampèrewindungen) M und anstatt des Widerstandes den magnetischen Widerstand R ein und erhielt so die Gleichung

$$Z = \frac{M}{R}.$$

Bosanquet[2]) bezeichnet M als „magnetomotorische Kraft“ und R als „magnetischer Widerstand.“

Die Formel zur Berechnung der Kraftlinien in einem Elektromagnete von Rowland stammt aus dem Jahre 1884.

[1]) Rowland, Phil. Mag., X, August 1873.

[2]) Bosanpuet, Phil. Mag., Juni 1884, Seite 532; Electrician, Feber 1885.

Bezeichnungen:

Z = Gesammtzahl der Kraftlinien,
m = Anzahl der magnetisirenden Windungen,
i = Strom in Ampère,
L = Abstand der Pole im Eisen,
Q = Querschnitt der Magnete,
μ = Magnetische Durchlässigkeit,
$L_3 = 2\delta$ = Doppelter Abstand des Ankereisens von den Polen,
Q_3 = Querschnitt der Luft zwischen dem Ankereisen und den Polschuhen,
Q_4 = Größe, abhängig von der Streuung der Kraftlinien in der Luft zwischen den Polschuhen und dem Ankereisen.

Mit Benützung dieser Bezeichnungen fand Rowland die Formel

$$Z = \frac{\frac{4\pi}{10}\, i\, m}{\frac{L}{\mu Q} + \frac{L_3}{Q_3 + Q_4}}.$$

Gisbert Kapp[1]) führte folgende Größen ein:

R_1 = Widerstand, welcher den Kraftlinien in den Magneten entgegenwirkt,
R_2 = Widerstand, welcher sich den Kraftlinien im Anker entgegenstellt,
R_3 = Doppelter Widerstand, welcher den Kraftlinien in der Luftschichte zwischen dem Anker und den Magneten entgegenwirkt,
C = Konstante, stellte die Gleichung

$$Z = \frac{c.i.m}{R_1 + R_2 + R_3}$$

auf und wendete auf die Widerstände R_1, R_2 und R_3 das Ohm'sche Gesetz,

$$R_1 = \frac{\alpha . L_1}{Q_1},\quad R_2 = \frac{\beta . L_2}{Q_2};\quad R_3 = \frac{\gamma\, 2\,\delta}{Q_3} \text{ an,}$$

worin

L_1 = Länge der Kraftlinien in den Magneten in *cm*,
L_2 = Länge der Kraftlinien im Anker in *cm*,
δ = Abstand zwischen dem Eisenkerne des Ankers und den Polschuhen in *cm*,
Q_1 = Querschnitt der Magnete in cm^2,

---

[1]) Electrician, Feber 1886 und Mai 1887.

Q_2 = Gesammtquerschnitt des Ankereisens in cm^2,
Q_3 = Querschnitt der Luft zwischen dem Anker und den Polschuhen im cm^2 und
α, β und γ Konstante, welche von dem angewendeten Material und von der Anordnung der Magnete abhängig sind.

180. Theorie von J. und E. Hopkinson.

J. und E. Hopkinson[1]) geben folgende ähnliche Formel für den magnetischen Kreislauf an:

$$P = p_1 + p_2 + p \quad \ldots . \text{ I. oder}$$

$$\frac{4\pi}{10}.i.m = L_1 B_1 \alpha_1 + L_2 B_2 \alpha_2 + L_3 B_3 \alpha_3 \ldots . \text{ II.},$$

worin

$$B_1 = \frac{N}{Q_1},\ B_2 = \frac{N}{Q_2},\ B_3 = \frac{N}{Q_3}.$$

α_1, α_2 und α_3 bezeichnen Widerstandskoëfficienten, gleich den reciproken Werten der magnetischen Durchlässigkeit μ für die verschiedenen Materiale.

$$\mu = \frac{B}{\left(\frac{4\pi}{10}.i.m\right)},$$

wenn

B = Magnetische Intensität (Anzahl der Kraftlinien für 1 cm^2) und
$\left(\frac{4\pi}{10}.i.m\right)$ = Magnetisirende Kraft = Anzahl der Ampèrewindungen, welche die Intensität B für 1 cm Länge erzeugen.

Die magnetische Durchlässigkeit μ ist für Luft = 1, für alle magnetisirbaren Körper größer als 1 und nimmt rascher ab, als die Sättigung zunimmt. J. und E. Hopkinson haben zusammengehörige Werte von verschiedenen B und magnetisirenden Kräften $\frac{4\pi}{10}.mi$ versuchsweise für Schmiede- und Gusseisen bestimmt und die zusammengehörigen Werte von $\frac{4\pi}{10}mi$ (als Abscissen) und B (als Ordinaten) in ein Koordinatensystem eingetragen. Da μ beziehungsweise $\frac{4\pi}{10}.mi$ und B für verschiedene Eisensorten verschieden ist, muss dasselbe für jede bestimmte Eisensorte ermittelt werden. Für das Schmiedeeisen einer später zu berechnenden Dynamo erhielten J. und E. Hopkinson auf diesem Wege die in Fig. 260 wiedergegebene Kurve.

[1]) J. und E. Hopkinson, Phil. Transactions I., 1886, Seite 331; Electrician, Nov. und Dec. 1886; Centralblatt für Elektrotechnik, X, 1887, Seiten 3, 63, 98, 141, 211 und 235; Elektrotechnische Zeitschrift, VIII, 1887, Seite 361.

Während Kapp in seinen grundlegenden Formeln den vollständigen magnetischen Stromkreis berechnet, zerlegen denselben J. und E. Hopkinson, der Gleichung II entsprechend, in 3 Theile.

$\frac{4\pi}{10} . im =$ Zahl der Ampèrewindungen, welche die Intensität B für die Länge des vollständigen magnetischen Stromkreises erzeugen.

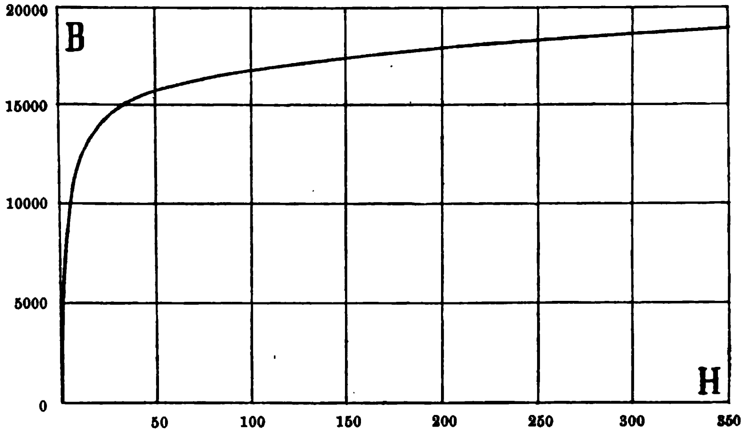


Fig. 260.

J. und E. Hopkinson zerlegen nun diesen Stromkreis in 3 Theile:

1. Theil $= L_1 B_1 \alpha_1 =$ Zahl der Ampèrewindungen, welche die Intensität B_1 für L_1 *cm* Länge des magnetischen Stromkreises in den Magneten erzeugen.

2. Theil $= L_2 B_2 \alpha_2 =$ Zahl der Ampèrewindungen, welche die Intensität B_2 für L_2 *cm* Länge des magnetischen Stromkreises im Anker erzeugen.

3. Theil $= L_3 B_3 \alpha_3 =$ Zahl der Kraftlinien, welche die Intensität B_3 für L_3 *cm* Länge des magnetischen Stromkreises in den Luftzwischenräumen zwischen dem Anker und den Polschuhen erzeugen.

Eine weitere Trennung des Weges der Kraftlinien in den Magneten nach J. u. E. Hopkinson in 3 Theile (Magnetkerne, Polschuh und Joch) ist in der Formel I nicht berücksichtigt. Mit Berücksichtigung dieser Theilung lautet die Formel I:

$$\frac{4\pi}{10} mi = \underbrace{L_{1a} B_{1a} \alpha_{1a} + L_{1b} B_{1b} \alpha_{1b} + L_{1c} B_{1c} \alpha_{1c}}_{\text{Magnete}} + \underbrace{L_2 B_2 \alpha_2}_{\text{Anker}} + \underbrace{L_3 B_3 \alpha_3}_{\text{Luft}} \ldots \text{III.},$$

worin $L_{1a} + L_{1b} + L_{1c} = L_1$.

Die Formel I gibt die gesammte magnetomotorische Kraft $\frac{4\pi}{10} mi$ ohne Rücksicht auf die Streuung der Kraftlinien an die Luft (bis 50% der in den Magneten erzeugten Kraftlinien werden bei den verschiedenen Konstruktionen der Dynamo an die Luft verstreut). Bringt man ein Stück Eisen mit dem Magnetkörper in Berührung, so wird es dort am stärksten angezogen, wo die größte Streuung herrscht. Die verschiedenen Querschnitte des magnetischen Stromkreises weisen verschiedene Streuung auf. In den Maschinen Fig. 258, 261, 262 und 263 ist die Streuung der Magnete, vom Anker aus gesehen, für die Querschnitte unmittelbar hinter den Magnetspulen, bei der Maschine in Fig. 259 in der Mitte der Magnetspulen am kleinsten (die Anzahl der Kraftlinien am größten).

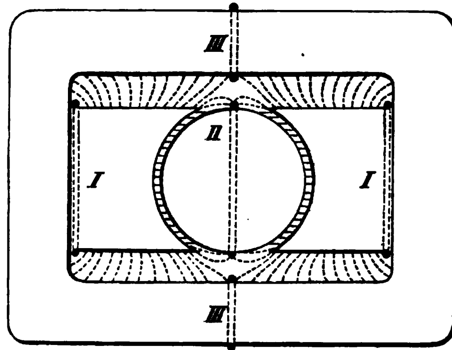


Fig. 261.

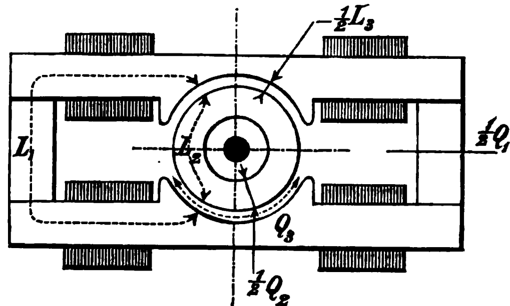


Fig. 262.

Sind in dem Anker, Fig. 261, N Kraftlinien erforderlich, so beträgt die Anzahl der Kraftlinien N_1 für die Querschnitte *II* je

$$N_1 = c_1 \; N \text{ Kraftlinien,}$$
worin c_1 = Streuungscoëfficient.

Den Streuungscoëfficienten bestimmt man am besten durch Versuche, indem man an der Stelle, an welcher derselbe zu ermitteln ist, in eine Windung ein Galvanometer einschaltet. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die Windungen bei *III III*, Fig. 261, hintereinanderzuschalten sind. Unterbricht man nun den Magnetstrom plötzlich, so erhält man einen Auschlag am Galvanometer, welcher der von der Versuchswindung eingeschlossenen Kraftlinienzahl proportional ist.

Die den zugehörigen Windungen *I*, *II* u. *III III* entsprechenden Galvanometerausschläge seien: I^1, II^1 und III^1 III^1. Die besten Werte geben die Mittel zweier Ablesungen am Galvanometer mit verschiedenen Stromrichtungen.

Dann ist $c_1 = \frac{I^1}{II^1}$ für den Querschnitt *I* und

$c_2 = \frac{III^1\, III^1}{II^1}$ „ „ „ *III*, bezogen

Fig. 263.

Fig. 264.

auf den Querschnitt *II*. Fallen c_1 oder c_2 kleiner als 1 aus, dann können die betreffenden Querschnitte verkleinert werden. Der Streuungscoëfficient wird sich von Querschnitt zu Querschnitt ändern. Die Rechnung liefert jedoch schon befriedigende Werte, wenn man den Stromkreis in 3 Theile (Magnete, Anker und Luft) zerlegt und für diese Theile den Streuungscoëfficienten als unveränderlich annimmt. Fig. 261 zeigt die durch Streuung verloren gehenden Kraftlinien. Unter Zugrundelegung dieser Streuungscoëfficienten nimmt die Gleichung II die Form an:

$$\frac{4\pi}{10} \cdot m\,i = \underset{\text{Magnete}}{L_1\, \varphi_1 (c_1 B_1)} + \underset{\text{Anker}}{L_2\, \varphi_2 (B_2)} + \underset{\text{Luft}}{L_3 B_3} \ldots \text{IV.},$$

worin $B_1 = \frac{N}{Q_1}$; $B_2 = \frac{N}{Q_2}$ u. $B_3 = \frac{N}{Q_3}$.

Die Zeichen φ_1 und φ_2 haben die Bedeutung, dass B_1 und B_2 mit der Sättigung nicht proportional wachsen. Das Glied $L_3 B_3$ enthält kein Zeichen φ, weil in der Luft für alle Sättigungsgrade dieselbe magnetomotorische Kraft erforderlich ist, um N Kraftlinien auf der Wegstrecke L_3 durch den Querschnitt Q zu treiben.

Für das gleiche Eisen ist $\varphi_1 = \varphi_2$.

Im Folgenden soll diese Theorie, welche in der Praxis neben den Theorien von Gisbert Kapp, Max Corsepius[1]), Karl Zickler[2]) u. A. zumeist Verwendung findet, an Beispielen erläutert werden.

1. Beispiel: J. u. E. Hopkinson haben die Charakteristik einer Nebenschlussmaschine, Fig. 264, zur Erklärung ihrer Theorie berechnet. Die Maschine steht, unter Zwischenlegung einer Zinkplatte, mit ihren Polschuhen auf einer gusseisernen Grundplatte. Magneteisenkern, Polschuhe und Joch bestehen aus Schmiedeeisen. Das Joch ist mit den Magneteisenkernen verschraubt. Für diese Maschine gelten die folgenden Daten:

320 Ampère normale Stromstärke,
105 Volt normale Spannung,
750 Umdrehungen in der Minute,
2 Lagen,
40 Abtheilungen,
16 Windungen in jeder Abtheilung,
0·01 Ohm Widerstand des Ankers bei 15° C.,
11 Lagen für jeden Schenkel,
2·41 *mm* Durchmesser des Magnetdrahtes,
3260 Gesammtzahl der Magnetwindungen,
4570 *m* Gesammtlänge der Magnetwindungen,
17 Ohm Widerstand der Magnetwickelung bei 15° C.,
45·7 *cm* Länge des Magnetschenkels,
22·1 „ Dicke „ „
44·5 „ Breite „ „
61·6 „ Länge des Joches,
48·3 „ Breite „ „
23·2 „ Dicke „ „
38·1 „ Abstand zwischen den Achsen beider Schenkel,
27·5 „ Bohrung für den Anker.

---

[1]) Dr. Max Corsepius, „Theoretische und praktische Untersuchungen zur Konstruktion magnetischer Maschinen“ u. „Leitfaden zur Konstruktion von Dynamomaschinen“ 1891.

[2]) Karl Zickler, „Ueber die Vorausberechnung der Dynamomaschine.“ Zeitschrift für Elektrotechnik, Wien, Bd. 6, 1888, S. 5 bis 11 u. S. 53 bis 65.

25·4 *cm* Höhe der Polstücke,
48·3 „ Tiefe „ „ (parallel zur Achse gemessen),
12·7 „ Dicke der Zinkplatte,
12·7 „ Breite des kleinsten Zwischenraumes zwischen den Polstücken.
50·8 „ Durchmesser des Ankereisens,
7·0 „ Durchmesser der Welle.

Die Gleichung IV.

$$\frac{4\pi}{10} . mi = \underset{\text{Magnete}}{L_1 \varphi_1 (c_1 B_1)} + \underset{\text{Anker}}{L_2 \varphi_2 (c_2 B_2)} + \underset{\text{Luft}}{L_3 B_3}$$ geht mit Rücksicht auf die Gleichung III (wenn man L_1 in 3 Theile zerlegt) in die Gleichung

$$\frac{4\pi}{10} . mi = \underbrace{L_{1a} \varphi (c B_{1a}) + L_{1b} \varphi (c B_{1b}) + L_{1c} \varphi (c B_{1c})}_{\text{Magnete}} + \underbrace{L_2 \varphi (B_2)}_{\text{Anker}} + \underbrace{L_3 B_3}_{\text{Luft}} \ldots \text{V.}$$

über. Wenn man für $B_{1a} = \frac{N}{Q_{1a}}$, $B_{1b} = \frac{N}{Q_{1b}}$, $B_{1c} = \frac{N}{Q_{1c}}$, $B_2 = \frac{N}{Q_2}$ u. $B_3 = \frac{N}{Q_3}$ einführt, dann ergibt sich die Anzahl der Ampèrewindungen aus der Gleichung

$$\frac{4\pi}{10} . mi = \underset{\text{Magnetkerne}}{L_{1a} \varphi_{1a} \left(c \frac{N}{Q_{1a}} \right)} + \underset{\text{Polschuh}}{L_{1b} \varphi \left(c \frac{N}{Q_{1b}} \right)} + \underset{\text{Joch}}{L_{1c} \varphi \left(c \frac{N}{Q_{1c}} \right)} +$$

$$+ \underset{\text{Anker}}{L_2 \varphi \left(\frac{N}{Q_2} \right)} + \underset{\text{Luft}}{L_3 \frac{N}{Q_3}} \ldots \text{VI.},$$

worin L_{1a} = Weglänge der Kraftlinien in den Magnetkernen in *cm*,
L_{1b} = „ „ „ „ „ Polschuhen „ „
L_{1c} = „ „ „ „ dem Joch. „ „
N = Anzahl der Kraftlinien im Anker in *CGS*,
Q_{1a} = Querschnitt der Magnetkerne in cm^2,
Q_{1b} = „ „ Polschuhe „ „
Q_{1c} = „ des Joches „ „
L_2 = Weglänge der Kraftlinien im Anker in *cm*,
Q_2 = Querschnitt des Ankereisens in cm^2,
L_3 = Weglänge der Kraftlinien in der Luft in *cm*,
Q_3 = Querschnitt der Luft zwischen Ankereisen u. Polschuh in cm^2.
c = Streuungscoëfficient.

Der Streuungscoëfficient c ergab bei einer Stromstärke $i = 5{\cdot}6$ Ampère den Wert 1·32.

Bestimmung der Querschnitte.

1. Magnet. $L_{1a} = 2 \,.\, 45{\cdot}7 = 91{\cdot}4$ *cm*.

$Q_{1a} = 930$ *cm*².

2. Polschuh. $L_{1b} = 2 \,.\, 11 = 22$ *cm*.

1500 *cm*² = Fläche, mit welcher ein Polschuh dem Anker gegenübersteht.

930 *cm*² = Querschnitt der Schenkel.

$$Q_{1b} = \frac{150 + 930}{2} = 1215 \; cm^2.$$

3. Joch. $L_{1c} = 49$ *cm*.

$Q_{1c} = 1120$ *cm*².

4. Anker. $L_2 = 13$ *cm*.

$$Q_2 = (50{\cdot}8 - 3{\cdot}9)\,(24{\cdot}5 - 7{\cdot}6) = 46{\cdot}9 \,.\, 16{\cdot}9 = 790 \; cm^2.$$

und mit Rücksicht auf die Stahlwelle:

$$Q_2 = 810 \; cm^2.$$

5. Luft. $L_3 = 27{\cdot}5 - 24{\cdot}5 = 3$ *cm*.

Der Polschuh umfasst einen Bogen von rund 129°. Der Durchmesser der Bohrung beträgt 27·5 *cm*. Demnach ist der von einem Polschuh umfasste Bogen $\lambda = 86{\cdot}39 \,.\, \frac{129}{360} = 31$ *cm*.

Der Polschuh misst in der Richtung der Welle 48·3 *cm*; daraus folgt: $Q_3 = 31 \,.\, 48{\cdot}3 \doteq 1500$ *cm*²
und mit Berücksichtigung der von den Seiten der Polschuhe in den Anker eintretenden Kraftlinien: $Q_3 = 1600$ *cm*².

Konstruktion der Magnetisirungskurven.

1. Konstruktion der Magnetisirungskurve im Luftraume. Die einer bestimmten Intensität (Anzahl der Kraftlinien für 1 *cm*²) B entsprechenden Werte der magnetomotorischen Kraft $\left(\frac{4\pi}{10}\, m\, i\right)$ für 1 *cm* Kraftlinienlänge ergeben sich aus der oben angeführten Magnetisirungskurve, Fig. 260.

Die magnetomotorische Kraft, welche erforderlich ist um N Kraftlinien auf der Strecke L_3 durch den Querschnitt Q_3 zu treiben

$$p = L_3 \,.\, \frac{N}{Q_3} \quad \text{(Gleichung VI.)}.$$

Das ist die Gleichung einer Geraden von der Form $y = a x$, d. h. sie geht durch den Ursprung des Koordinatensystems. Es muss demnach $a = \frac{Q_3}{L_3} = tg\, \alpha$, wenn α = der Tangente des Neigungswinkels der

Geraden gegen die Abscissenachse. Der Maßstab ist, um die Tangente graphisch wiedergeben zu können, für p 500mal so groß, als für N gewählt, daher ist

$$tg\,\alpha = \frac{1}{500} \cdot \frac{1600}{3} = 1{\cdot}067 \text{ und } \alpha = 46{\cdot}9.$$

Daraus ergibt sich als Charakteristik in der Luft die in Fig. 265 mit „Luft" bezeichnete Gerade.

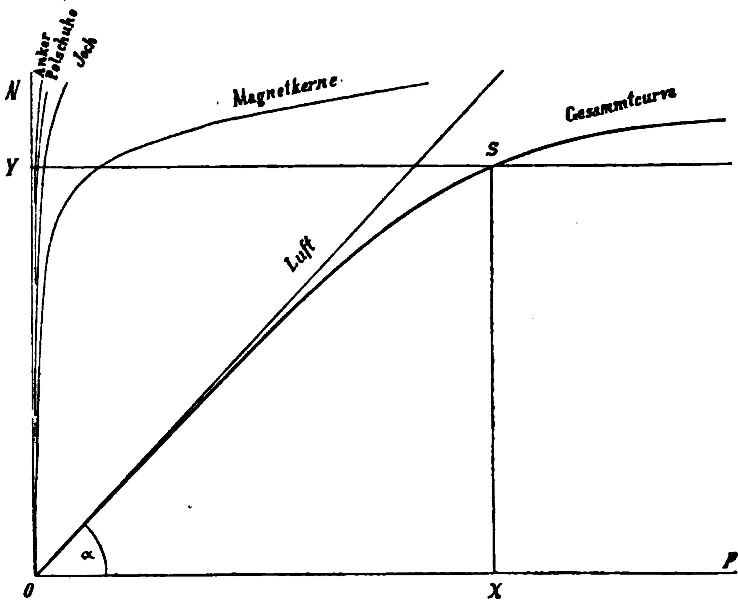


Fig. 265.

Für eine bestimmte elektromotorische Kraft E ist eine bestimmte Anzahl Kraftlinien im Anker erforderlich. Sei diese Anzahl der Kraftlinien z. B. $= 5 \,.\, 10^6$ so kommen, da der Querschnitt des Luftraumes 1600 cm^2 beträgt, auf ein cm^2 $\frac{5.10^6}{1600} = 3125$ Kraftlinien, wofür sich aus der Kurve von J. u. E. Hopkinson (Fig. 260) $H_3 = 3$ ergibt; damit wird

$$p = 3 \,.\, 3125 = 9375.$$

2. Konstruktion der übrigen Magnetisirungskurven.

Für den Anker kann man die den verschiedenen Induktionen B_2 entsprechenden magnetisirenden Kräfte $H_2 = \frac{p_1}{L_2}$ aus der Kurve, Fig.

260, ablesen. Ist z. B. $B_2 = \frac{10 \cdot 10^6}{810} = 12350$, so ergibt sich aus dieser Figur

$$H = 9{\cdot}5 \text{ daher } p_1 = 13 \cdot 9{\cdot}5 = 123{\cdot}5 \text{ und}$$
$$500\, p_1 = 61750 = 0{\cdot}062 \cdot 10^6.$$

Wählt man den Maßstab $10^6 = 1$ *cm* und errichtet in Fig. 265 auf die Abscissenachse im Abstande von 0·062 *cm* vom Ursprung O eine Senkrechte, so wird dieselbe von der zur X-Achse parallelen Geraden $Y\,S$, welche durch den Punkt Y, dessen Ordinate $O\,Y = 10 \cdot 10^6$ ist, in einem Punkte jener Kurve geschnitten, welche den Zusammenhang der Kraftlinienzahl N mit der magnetomotorischen Kraft p_1 veranschaulicht.

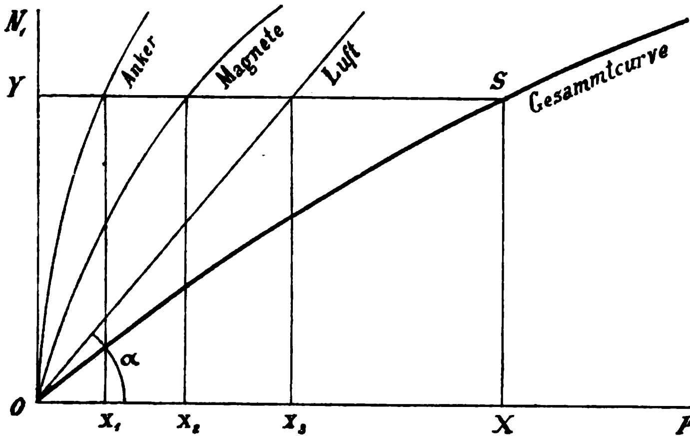


Fig. 266.

Ebenso kann man dieses Verfahren auf die anderen Theile des magnetischen Stromkreises anwenden; dann ergeben sich die in Fig. 265 wiedergegebenen Kurven.

Die Summe sämmtlicher in einem Punkte der Ordinatenachse z. B. in Y, Fig. 266, zusammentreffender Abscissen sind $= O\,X$, d. h.

$$\overline{OX} = \overline{O_{x1}} + \overline{O_{x2}} + \overline{O_{x3}} + \ldots\ldots$$

Die Ordinate $O{\cdot}Y$ und die Abscisse OX geben den Punkt S der resultirenden Kurve, welche zusammengehörige Werte von gesammter magnetomotorischer Kraft $P = \overline{OX}$ und Kraftlinienzahlen N abzulesen gestattet.

Z. B. bestimmen wir in folgender Art die erregende Kraft in Ampèrewindungen $i\,m$, wenn (nach Früherem) die Spannung an den

Klemmen der Maschine = 105 Volt und die Stromstärke im äußeren Stromkreise 320 Ampère betragen. Spannungsverlust im Anker = 4 Volt.

$$N = \frac{10^8 . 109}{12{\cdot}5 . 80} = 10{\cdot}9 . 10^6 \; C\;G\;S.$$

Aus der Kurve, Fig. 265, lesen wir für $N = 10{\cdot}9 . 10^6$ als Abscisse den Wert $12{\cdot}4 . 10^6$ Einheiten der Ordinatentheilung ab.

Da nun diese Theilung 500mal so groß gewählt wurde, als die Ordinatentheilung, ist

$$OX = P = \frac{4\pi}{10} . mi = \frac{12{\cdot}4 . 10^6}{500} = 24800, \text{ daher}$$

$$mi = \frac{24800 . 10}{4\pi} \doteq 19700 \text{ Ampère-Windungen.}$$

Die gesammte Windungszahl beträgt 3260, daher ergibt sich der Magnetstrom

$$i = \frac{19700}{3260} \doteq 6 \text{ Ampère.}$$

Die magnetomotorische Kraft 24800 vermag $10{\cdot}9 . 10^6$ Kraftlinien durch den Kreislauf des magnetischen Stromkreises zu befördern.

In unserem Beispiele sind davon verwertet:

Um N Kraftlinien durch:

$$\text{den Anker zu treiben } p_1 = \frac{90000}{500} = 180,$$

$$\text{den Luftraum „ „ } p = \frac{10{\cdot}4 . 10^6}{500} = 20800,$$

$$\text{die Schenkel „ „ } p_2 = \frac{1{\cdot}735 . 10^6}{500} = 3470,$$

$$\text{die Polschuhe „ „ } p_3 = \frac{90\,000}{500} = 180,$$

$$\text{das Joch „ „ } p_4 = \frac{285000}{500} = 570,$$

$$\text{so dass } P = p + p_1 + p_2 + p_3 + p_4 = \frac{12{\cdot}4 . 10^6}{500} = 24800.$$

2. Beispiel. Wie groß ist die Anzahl der für die Versuchsmaschine zu 13200 Watt bei 110 Volt erforderlichen Ampèrewindungen auf den Magneten? Die Angaben sind aus der in § 159 wiedergegebenen Tafel über die Versuchsmaschinen zu entnehmen.

Für diese Maschinen, Type Fig. 258, erhielt ich bei Schmiede- und Gusseisen die in Fig. 267 eingezeichneten Kurven, als höchsten Wert des Streuungscoefficienten die Zahl 1·5.

Anzahl der Kraftlinien im Anker:

$$N = \frac{10^8 \,.\, 113{\cdot}783}{14{\cdot}17 \,.\, 200} = 4014936.$$

Konstruktion der Magnetisirungsgeraden im Luftzwischenraume:

$$L_3 = 42{\cdot}4 - 40 = 2{\cdot}4 \; cm.$$

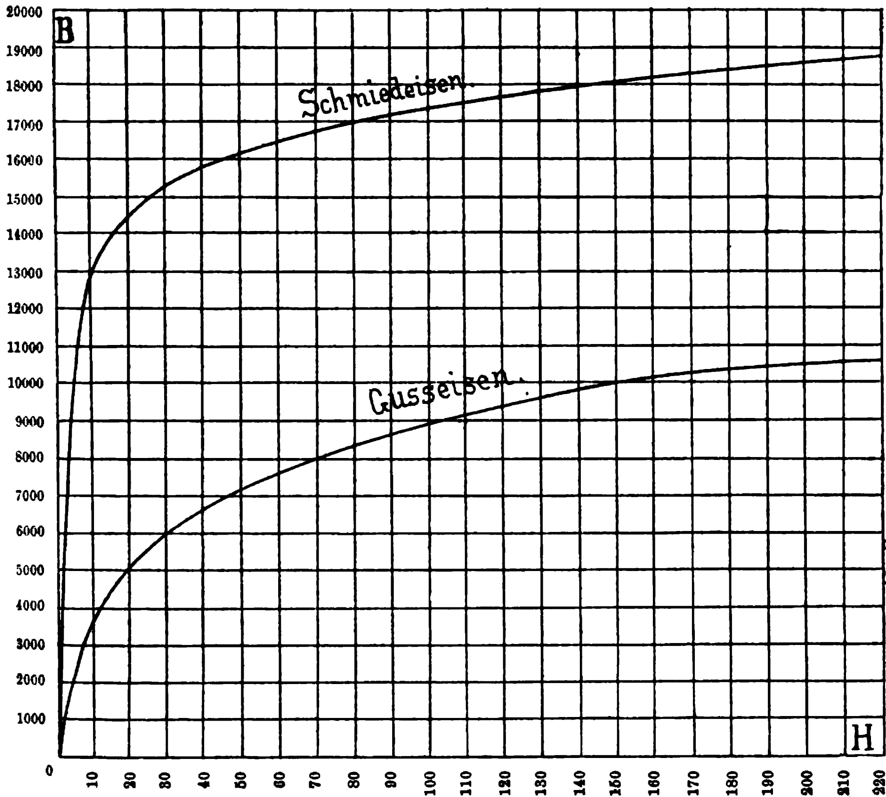


Fig. 267.

Der von einem Polschuh umfasste Bogen $\lambda = 52{\cdot}9 \; cm$.

$$Q_3 = 52{\cdot}9 \times 28 = 1481 \; cm^2.$$

Bei der Edison-Hopkinson-Type (1. Beispiel) war dieser Querschnitt mit Bezug auf die von der Seite des Polschuhes in den Anker eintretenden Kraftlinien zu vergrößern. Bei der Versuchsmaschine sind die Polschuhe abgerundet, so dass $Q_3 < 1481 \; cm^2$. Dieser Umstand ist jedoch bei diesen Maschinen nicht zu berücksichtigen, weil dagegen

annähernd mehr Kraftlinien von den Seiten einzusetzen wären. Bei der im 1. Beispiele gewählten Type deckt die Polfläche die gegenüberliegende Ankeroberfläche vollständig, bei den Versuchsmaschinen jedoch, des Abrundens der Polschuhe halber, nicht ganz vollständig.

Die Gleichung der Magnetisirungsgeraden lautet (sowie im 1. Beispiele):

$$p = L_3 \cdot \frac{N}{Q_3}, \text{ Maßstab } 500\,p = 1\ N,$$

$$tg\,\alpha = \frac{1}{500} \cdot \frac{1481}{2 \cdot 4} = 1 \cdot 234,\ \alpha = 51^0, \text{ d. h.:}$$

Die Gerade $p = L_3 \cdot \frac{N}{Q_3}$ bildet mit der Abscissenachse einen Winkel von 51^0.

$$p = \frac{4014936 \cdot 2 \cdot 4}{1481} = 6504.$$

Konstruktion der Magnetisirungskurve für den Ankerkern:

$$L_2 = 49 \cdot 5\ cm.$$

$$Q_2 = 28 \cdot \frac{4}{5} \cdot 17 = 442\ cm^2.$$

$$B_2 = \frac{N}{Q_2} = \frac{4014936}{442} = 9084.$$

Für $B_2 = 9084$ folgt aus der Magnetisirungskurve für Schmiedeeisen, Fig. 267, der Wert $H_2 = 5$. Daher $p_2 = 49 \cdot 5 \,.\, 5 \doteq 248$.

Konstruktion der Magnetisirungskure für die Magnete:

$$L_1 = 173\ cm;\ Q_1 = 616\ cm^2,$$

$$B_1 = \frac{N}{Q_1} = \frac{4014936}{616} = 6518 \text{ und}$$

$$cB_1 = 6518 \cdot 1 \cdot 5 = 9777.$$

Für die Intensität 9777 ergibt die Magnetisirungskurve für Gusseisen, Fig. 267, den Wert $H_1 = 140$.

$$p_1 = 173 \cdot 140 = 24220.$$

Die gesammte magnetomotorische Kraft

$$P = p + p_2 + p_1,$$
$$p = 6504,$$
$$p_2 = 248,$$
$$p_1 = 24220,$$
$$P = 30972 = \frac{4 \pi m i}{10},$$
$$mi = 24659 \text{ Ampèrewindungen.}$$

Berechnung von Elektromotoren. Bei der Berechnung von Elektromotoren hat man in der Grundgleichung

$$E = \frac{n \, . \, C \, . \, N}{10^8} \text{ Volt oder}$$

$$N = \frac{10^8 \, . \, E}{n \, . \, C}$$ den Spannungsverlust im Anker von E zu subtrahiren.

X. *Wechselstrom.*

181. Die elektrische Arbeit des Wechselstromes.

Bezeichnungen:

a = Mittlere elektrische Arbeit in einer Induktionsspule,
i' = Gemessene mittlere Stromstärke,
e' = „ „ Spannung,
$\alpha = 2\pi\varphi$ = Phasendifferenz zwischen i' und e'.

Mit Benützung dieser Bezeichnung ist die mittlere elektrische Arbeit

$$a = i' \, . \, e' \, . \cos 2\pi\varphi.$$

i' misst man mit einem Elektrodynamometer von Siemens & Halske (Seite 82, Fig. 83 und 84) oder Ganz & Co., einem Elektrometer, einem Kalorimeter, einer Normalstromwage von Sir W. Thomson u. s. w.

e' mit dem Spannungselektrodynamometer von Siemens & Halske, dem Voltmesser von Cardew, dem Hitzdrahtvoltmesser von Hartmann & Braun, dem elektrostatischen Voltmesser von Sir W. Thomson, mit Elektrometern u. s. w.

Direkte Messungen der elektrischen Arbeit a besorgen die Wechselstrom-Elektricitätszähler von O. T. Bláthy, H. Aron u. s. w.

Weitere Bezeichnungen:

i = Stromstärke,
e = Klemmenspannung,
e_m = Maximale an den Klemmen der Induktionsspule wirksame Spannungsdifferenz,
i_m = Maximaler Wert der Stromstärke innerhalb einer Periode,
$x = 2\pi \frac{t}{T}$,
z = Anzahl der Stromwechsel in der Sekunde,
ρ = Widerstand der Induktionsspule,
L = Selbstinduktionscoëfficient.

Die mittlere elektrische Arbeit ist gleich der Summe der Produkte $e \,.\, i$ innerhalb einer halben Periode, getheilt durch die Zeitdauer einer halben Periode $\left(\frac{T}{2}\right)$, d. h.

$$a = \frac{2}{T} \cdot \int_{t=o}^{t=\frac{T}{2}} e \,.\, i\, dt.$$

Die Spannung e und die Stromstärke i lassen sich durch Wellen- oder Sinuslinien (§ 168, Fig. 251) darstellen.

Da die Spannung und die Stromstärke weiters um den Winkel α gegeneinander verschoben sind entsprechen ihnen die Sinusgleichungen

$$e = e_m \,.\, \sin\,(x + \alpha) \text{ und}$$
$$i = i_m \,.\, \sin x.$$

Hiermit geht der obige Integralausdruck in den folgenden über:

$$a = e_m \,.\, i_m \,.\, \frac{2}{T} \cdot \int_{t=o}^{t=\frac{T}{2}} \sin x \,.\, \sin\,(x + \alpha)\, dt \text{ oder}$$

wenn man integrirt und berücksichtigt, dass $x = 2\pi \frac{t}{T}$ und $\alpha = 2\pi\varphi$:

$$a = \frac{e_m \,.\, i_m}{2} \cos 2\pi\varphi, \text{ worin}$$
$$e_m = \sqrt{2} \,.\, e' = 1{\cdot}4142\, e' \text{ und}$$
$$i_m = \sqrt{2} \,.\, i' = 1{\cdot}4142\, i'.$$

Daraus folgt $a = i' \,.\, e' \,.\, \cos 2\pi\varphi$.

Wenn man in diese Gleichung die obigen Größen z, ρ und L einführt, dann ist zu beachten, dass

$$\operatorname{tg} 2\pi\varphi = \frac{z \,.\, \pi \,.\, L}{\rho} \text{ oder}$$

$$\cos 2\pi\varphi = \frac{\rho}{\sqrt{\rho^2 + z^2\pi^2 L^2}}; \text{ hiermit wird}$$

$$a = i' \,.\, e' \,.\, \frac{\rho}{\sqrt{\rho^2 + z^2\pi^2 \,.\, L^2}}.$$

Den größten Wert der Phasenverschiebung $2\pi\varphi$ bestimmt die Gleichung

$$\operatorname{tang} 2\pi\varphi = \infty, \text{ d. h.}$$

$$2\pi\varphi = \frac{\pi}{2}.$$

Die Phasendifferenz kann deshalb nicht größer sein als der vierte Theil der Periode.

Findet keine Phasendifferenz zwischen Strom und Spannung statt (ist der Widerstand ρ induktionsfrei), dann müssen

$$\cos 2\pi\varphi = 1 \text{ und}$$
$$a = i' \,.\, e', \text{ sowie bei Gleichstrom sein.}$$

182. Mehrphasige Wechselströme.[1])

Nimmt man bei einer Wechselstrommaschine anstatt von zwei, von mehreren Punkten des Induktors, z. B. von drei Punkten, durch drei Schleifringe Strom ab, sowie es in den Fig. 268a bis 268c veranschaulicht erscheint, so erhält man drei Wechselströme und zwar:

1. Einen Wechselstrom zwischen den Bürsten b_1 und b_2.
2. „ „ „ „ „ b_2 „ b_3.
3. „ „ „ „ „ b_3 „ b_1.

Da diese drei Ströme an drei verschiedenen Stellen der Ankerwindungen abgenommen werden, so müssen sie zu gleicher Zeit verschiedene Stärken, verschiedene Phasen haben; man nennt sie deshalb Ströme von verschiedener Phase oder Mehrphasenströme.

Für drei Wechselströme verschiedener Phase kann man drei vollständig getrennte Leitungen — Sechs-Leiter — oder den Fig. 268a bis 268c entsprechend, sogenannte verkettete Leitungen — Drei-Leiter — verwenden.

Die drei concentrischen Kreise der Fig. 268a bis 268c bedeuten drei Schleifringe, welche durch die Anschlüsse 1, 2 und 3 mit drei in der Zeichnung um 120° von einander abstehenden Punkten der Ankerwickelung verbunden sind. Auf den drei Schleifringen schleifen die Bürsten b_1, b_2 und b_3. Die drei Hauptleitungen des Systemes sind mit den Buchstaben L_1, L_2 und L_3 bezeichnet.

Aus den drei verschiedenen Stellungen des Induktors während einer Umdrehung Fig. 268a, 268b und 268c ist ersichtlich, dass der Strom während einer Umdrehung immer nur bei einer Bürste die Maschine verlässt, während er in zwei Bürsten zurückfließt. Das von einer Umdrehung Angegebene gilt von jeder weiteren Umdrehung. Es dienen demnach immer eine Leitung als Hin-, die beiden anderen als Rückleitung des Stromes.

Während der Stellung des Induktors, welche in Fig. 268a wiedergegeben ist, kommt der austretende Strom von dem Anschlusspunkte 2, während der in Fig. 268b festgehaltenen Stellung von dem Punkte 1,

[1]) Kratzert, Zeitschrift für Elektrotechnik, 1893, Heft XVII und XVIII.

während der Stellung Fig. 268 c von dem Punkte 3. Da diese 3 Punkte 2, Fig. 268 a, 1, Fig. 268 b und 3, Fig. 268 c gegen die Magnetpole dieselbe Lage haben, muss die Intensität des von denselben abgenommenen Stromes immer dieselbe sein. Durch je eine Bürste fließt der Strom von der Maschine in voller Stärke J und durch je zwei Bürsten in gleichen Hälften $\frac{J}{2}$ zur Maschine zurück. Ist die Stromstärke an der Bürste b_3 in der Stellung Fig. 268a gleich J, dann muss dieselbe in der Stellung Fig. 268 b gleich $-\frac{J}{2}$ und in der Stellung 268 c ebenfalls gleich $-\frac{J}{2}$ sein.

Die algebraische Summe $J - \frac{J}{2} - \frac{J}{2} = 0$.

Die Stromstärken an den Bürsten b_1 und b_2 in den Fig. 268 a bis 268 c führen zu identischen Gleichungen. Daraus ergibt sich der Satz:

Die algebraische Summe des durch eine Bürste während einer Umdrehung des Induktors fließenden Stromes ist gleich Null.

Eine ähnliche Folgerung führt zu dem von M. von Dolivo Dobrowolsky gefundenen Satze: Die algebraische Summe der drei Ströme an den drei Bürsten ist in jeder einzelnen der drei Stellungen, Fig. 268 a bis 268 c, gleich Null.

Führt man demnach die drei Leitungen in einem Bündel, so findet keine Wechselwirkung gegen benachbarte Ströme, Magnete oder Eisenmassen statt, während die einzelnen Leitungen solche Wirkungen verursachen. So wird z. B. ein einzelner der drei Leiter auf Eisen gelegt, durch in demselben erzeugte Induktionsströme bewegt, während ein aus den drei Leitungen bestehendes Bündel in Ruhe verbleibt.

Da die algebraische Summe des durch jede Bürste während jeder Umdrehung fließenden Stromes gleich Null ist, so müssen auch die resultirenden Stromstärken einander gleich sein und es erhalten alle drei, an die drei Bürsten angeschlossenen Hauptleitungen L_1, L_2 und L_3, Fig. 268 a bis 268 c, denselben Querschnitt.

Aus Fig. 268 a erkennt man, dass bei der Reihen- (Stern- oder offenen) Schaltung für die Lampen *a*, *b* und *c* dieselben Stromverhältnisse platzgreifen, wie für die Hauptleitungen L_1, L_2 und L_3, während die Spannung zwischen je zwei Hauptleitungen größer ist, als die Spannung jeder einzelnen Lampe.

Bei der Nebenschluss- (Dreiecks- oder geschlossenen) Schaltung, Fig. 268 b, herrscht zwischen je zwei Hauptleitungen dieselbe Spannung,

Fig. 268 a.

Fig. 268 b.

Fig. 268 c.

Mehrphasenströme.

wie an jeder einzelnen Lampe, die Stromstärken der einzelnen Lampen a, b und c sind jedoch kleiner als die Stromstärke in jeder Hauptleitung.

Fig. 268c zeigt eine Dreiphasenmaschine in Verbindung mit Transformatoren und in gemischter Schaltung mit Glüh-, Bogenlampen und einem Dreiphasenmotor. Der niedrig gespannte Strom tritt bei der Bürste b_1 und der Hauptleitung L_1 aus der Maschine in den primären Transformator T_1 und verlässt denselben in den Hauptleitungen L_2 und L_3, welche zu den Bürsten b_2 und b_3 der Maschine zurückführen. Der in dem Transformator T_1 inducirte, sekundäre, hochgespannte Strom fließt durch die Fernleitungen l_1, l_2 und l_3 in den sekundären Transformator T_2, in welchem derselbe in niedrig gespannten Strom transformirt wird, welcher in den Leitungen λ_1, λ_2 und λ_3 als Nutzstrom Verwendung findet.

Als ein Beispiel zutreffender Spannungen seien angeführt:

100 Volt in der Maschine, 10000 Volt in der Fernleitung, 100 Volt im Nutzstromkreise bei einer Entfernung von rund 30 *km*.

In der Fig. 268c sind im Nutzstromkreise bei 100 Volt zwischen je zwei Hauptleitungen drei Glühlampen in Parallelschaltung, dreimal drei Bogenlampen in Hintereinanderschaltung und ein Elektromotor eingeschaltet. Motoren sind stets an alle drei Hauptleitungen angeschlossen. Durch die in der Fig. 268c getroffene Anordnung der Glüh- und Bogenlampen ist eine gleiche Belastung zwischen den einzelnen Leitungen λ_1, λ_2 und λ_3 erzielt, wenngleich diese Bedingung bei Mehrphasenströmen nicht vollkommen eingehalten werden muss.

Eigene Schaltungen und Anordnungen der Mehrphasenmaschine, des Transformators, des Motors und des Elektricitätszählers, sowie Mittel zur Erzeugung von Phasendifferenzen habe ich in einer Abhandlung, betitelt: „Neues Drehstromsystem“ [1]) angegeben.

Die elektrische Arbeit eines Wechselstromes

$$a = i \,.\, e \,.\, \cos \alpha.$$

Da Mehrphasenströme aus mehreren Wechselströmen bestehen, lässt sich für dieselben diese Gleichung ohne weiters anwenden. Beispielsweise braucht jeder Stromnehmer in den Fig. 268a oder 268b eine elektrische Arbeit

$$A_1 = J \,.\, E \cos \alpha,$$

alle drei Stromnehmer verbrauchen also eine elektrische Arbeit

$$A = 3\,A_1 = J \,.\, E \cos \alpha,$$

worin J gleich ist der Stromstärke des Stromnehmers gemessen z. B. mit einem Elektrodynamometer von Siemens & Halske oder Ganz & Co.,

---

[1]) Kratzert, Elektrotechnische Zeitschrift, Berlin, 1893, Heft 19, Seite 269.

einem Elektrometer, einem Kalorimeter, einer Normalstromwage von Sir W. Thompson u. s. w. und E gleich ist der Spannung des Systemes, Spannung zwischen je zwei Hauptleitungen, gemessen z. B. mit dem Spannungselektrodynamometer von Siemens & Halske, dem Voltmesser von Cardew, dem Hitzdrahtvoltmesser von Hartmann & Braun, dem elektrostatischen Voltmesser von Sir W. Thompson mit Elektrometern u. s. w.

Direkte Messungen der elektrischen Arbeit A besorgt das Arbeitselektrodynamometer von Siemens & Halske.[1]) H. Aron misst die Arbeit der Mehrphasenströme, sowie die der Gleich- und Wechselströme mit seinem Elektricitätszähler. Allgemein giltige Messmethoden zur Messung von Mehrphasenströmen hat Hans Görges[2]) aufgestellt.

In einem Stromkreise, in welchem nur Glüh- oder Bogenlampen eingeschaltet sind, findet keine Phasenverschiebung statt; in einem solchen muss demnach

$$\cos \alpha = 1 \text{ oder}$$
$$\alpha = 0 \text{ sein.}$$

Enthält ein Stromkreis Elektromotoren, Transformatoren oder Induktionsspulen, dann findet eine Phasendifferenz statt und es ist

$$\cos \alpha < 1 \text{ zu ermitteln.}$$

Annähernd ergibt sich für Elektromotoren

$$\cos \alpha = 0{\cdot}72.$$

Bei Aufstellung der Arbeitsgleichung wurden die Giltigkeit des Sinusgesetzes für Strom und Spannung, gleichgroße Perioden, sowie gleiche Belastung in den einzelnen Zweigen der Mehrphasensysteme und eine Phasendifferenz von 120° vorausgesetzt.

Eine ganz allgemein giltige Formel hat Hans Görges ebenfalls in der eben angeführten Abhandlung aufgestellt.

In den Fig. 268a bis 268c ist der Vorgang der Stromerzeugung in drei aufeinanderfolgenden Stellungen des Induktors ersichtlich gemacht.

Schickt man den so erzeugten Strom in einen beispielsweise festgelegten Ring, Fig. 269a, bis 269c, wobei dieser Ring gerade so aufgebaut sein kann, wie jener in den Fig. 268a bis 268c dargestellte, so ergeben sich beiläufig folgende Richtungen der resultirenden magnetischen Felder:

1. Der Ring, Fig. 269a, sei mit der Maschine, Stellung 268a, verbunden. Das resultirende magnetische Feld hat die Richtung $N_1\, S_1$, Fig. 269a.

---

[1]) Dr. F. Zickermann, Elektrotechnische Zeitschrift, Berlin, 1891, Seite 509.
[2]) Hans Görges, Elektrotechnische Zeitschrift, Berlin, 1891, Seite 214 ff.

2. Der Ring, Fig. 269 b sei mit der Maschine, Stellung Fig. 268 b, verbunden. Das resultirende magnetische Feld hat die Richtung $N_2 S_2$, Fig. 269 b.

3. Der Ring, Fig. 269 c, sei mit der Maschine, Stellung 268 c, verbunden. Das resultirende magnetische Feld hat die Richtung N_3 S_3, Fig. 269 c.

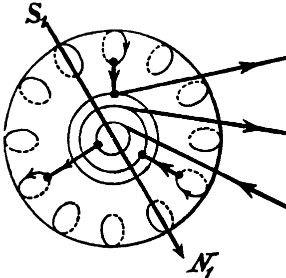


Fig. 269 a.

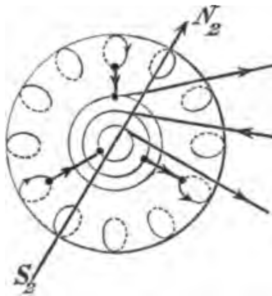


Fig. 269 b.

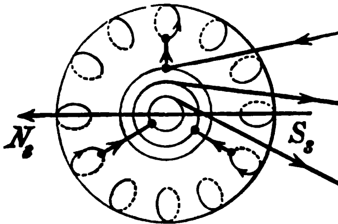


Fig. 269 c.

Magnetisches Drehfeld.

Es ergibt sich daraus, dass das magnetische Feld während einer Umdrehung des Induktors ebenfalls eine Umdrehung macht.

Aus diesem Grunde hat M. von Dolivo-Dobrowolsky[1]) das so erzeugte magnetische Feld ein Drehfeld, die dasselbe erzeugenden Maschinen Drehstrommaschinen und die durch letztere angetriebenen Elektromotoren, Drehstrommotoren genannt.

Durch Gleichstrom erhält eine in der Nähe befindliche Magnetnadel oder ein Strom eine bestimmte feste Einstellung, durch Wechselstrom werden dieselben in eine pendelnde, durch ein Drehfeld dagegen in eine drehende (rotirende) Bewegung versetzt.

Die Theorie und Praxis der mehrphasigen Wechselströme umfasst die Arbeiten von Ricardo Arno, E. Arnold, H. Aron, Walter Baily, L. M. Baumgardt, Behn-Eschenburg, H. Behrend, O. T. Bláthy, Borel, F. Braun, C. E. L. Brown, Cornu, Marcel Deprez, Max Déri, M. von Dolivo-Dobrowolsky, A. du Bois-Reymond, Galileo Ferraris, A. Förderreuther, Robert M. Friese, Géraldy, Hans Görges, L. Gutmann, Haselwander, E. Hospitalier, E. Huber, M. Hutin und M. Leblanc, C. L. Imhoff, Gisbert Kapp, Rankin Kennedy, Emil Kolben, J. Kollert, Korda, Wilhelm Lahmeyer, Lontin und de Fonvielle, Schirlitz, J. Sohlmann, W. Stanley und Kelly, Chas. Prot. Steinmetz, Stort, Teege, Nikola Tesla, Elihu Thompson, Silv. P. Thompson, Wahlström, W. Weiler, A. Weinhold, Wenström, F. Zickermann u. A.

---

[1]) M. von Dolivo-Dobrowolsky, Elektrotechnische Zeitschrift, Berlin, 1891, S. 161

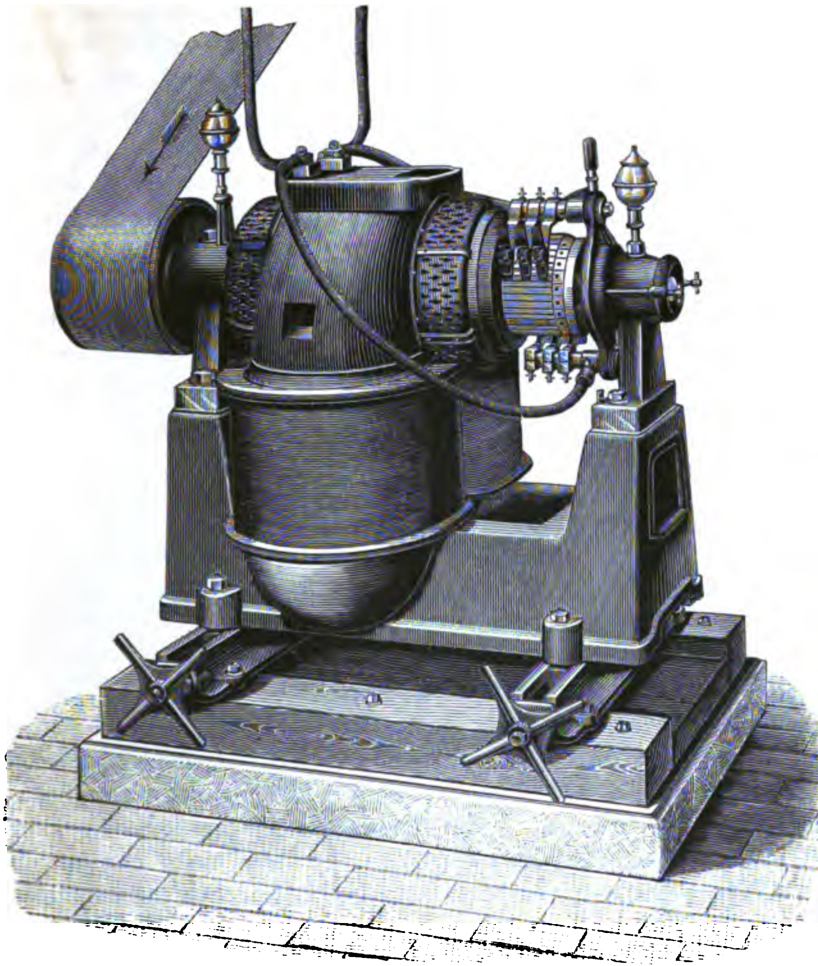


Fig. 270.

XI. Beschreibung von Dynamomaschinen und Elektromotoren.

183. Die Maschine der Type LH von Siemens & Halske, Fig. 270.

Diese Maschine ist aus der Type *H* derselben Firma hervorgegangen. Die wichtigsten Neuerungen sind:

1. Die Außenflächen der Polschuhe der Type *H* waren abgeschrägt; die der Type *LH* sind abgerundet.

2. Die Magnetkerne der Type *H* hatten einen kreisförmigen Querschnitt; der Querschnitt der Magnetkerne der Type *LH* ist nahezu halbkreisförmig. Die ebenen Flächen der letzteren Kerne sind einander zugewendet.

3. Die Innenfläche der Polschuhe der *H*-Maschinen war kleiner, als jene der *LH*-Maschinen.

Die Magnetkerne der *LH*-Maschinen sind kurz und reichlich dimensionirt, die Anzahl der Kraftlinien für 1 cm^2 ist eine sehr geringe. Der Magnetständer und das Eisengestell bestehen aus einem Stück Gußeisen oder Gussstahl. Die viereckigen Oeffnungen an den Außenflächen der Polschuhe dienen zum Aufheben und Transportiren der Maschine. Das Kupfergewicht der Magnetschenkel ist den erzielten höchsten Nutzeffekten angemessen.

Die *LH*-Maschinen sind mit Original-Siemenstrommeln tadelloser Ausführung ausgerüstet. Die Trommelwindungen der Maschinen höherer Leistungen bestehen aus Drahtlitzen, welche geeignet erscheinen, die Bildung von Wirbelströmen gänzlich auszuschließen. Für kleinere Maschinen finden ein Luftkollektor, für grössere ein eigens aufgebauter Kollektor aus Kupfertheilen Verwendung; der letztere ist so eingerichtet, dass beschädigte Theile leicht auswechselbar sind. Die eigene Konstruktion des Bürstenapparates zeigt zumtheile Fig. 167. Die von der Firma erzeugten Kupfergazebürsten, in den federnden Bürstenhaltern, führen den Strom vollkommen funkenlos von dem Kollektor in das Leitungsnetz. Die Kupfergazebürsten ermöglichen einen geräuschlosen Gang der Maschine. Der Reibungskoefficient zwischen Bürsten und Kollektor hat einen kleinsten Wert. Die Maschinen werden, durch eine Holzzwischenlage von der Erde isolirt, auf Schienen aufgestellt. Für das Nachspannen des Riemens sorgt die in der Figur ersichtliche Riemenspannvorrichtung.

Die *LH*-Maschinen werden als Hauptstrom-Nebenschluss- und gemischt geschaltete Maschinen und Motoren mit Leistungen von 1450 bis 100000 Watt bei 1800 bis 500 Umdrehungen gebaut.

184. Das Modell N der Firma B. Egger & Co. in Wien und Budapest, Fig. 271 a. Der Magnetkörper, die Grundplatte und die Lagerständer sind aus einem Stücke gegossen (zumeist aus Gusseisen, seltener aus Gussstahl). Die Magnetkerne haben einen kreisförmigen Querschnitt. Die Polschuhe sind so ausgebohrt, dass die Polflächen das größtmögliche Flächenausmaß erhalten. (Die Bohrung reicht bis zur Achse der Kerne). Die Eisenkerne des Trommelankers sind direkt auf die Welle aufgesetzt, die Eisenscheiben durch dünnes Papier von einander

Fig. 271 a.

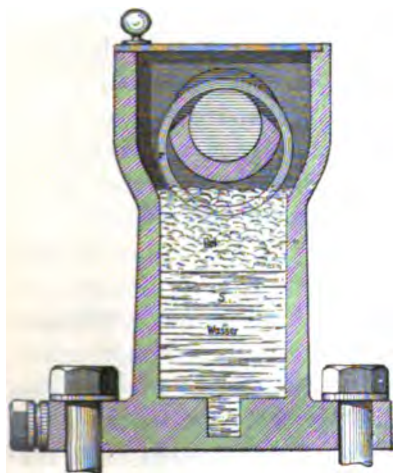


Fig. 271 b.

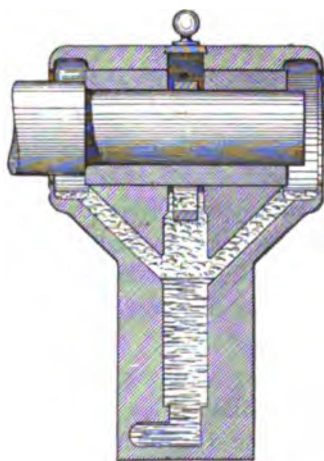


Fig. 271 c.

isolirt und durch Endscheiben zusammengehalten. Die Trommeln sind zumeist glatt. Eine gegenseitige Verschiebung der Drähte am Umfange ist durch Anbringung von festen Keilen hintan gehalten. Für höhere Leistungen finden parallelgeschaltete Drähte Verwendung. Trotz des verhältnismäßig großen Trommeldurchmessers ist die Bürstenverschiebung ganz gering. Der Kollektor ist auf eine eiserne Büchse aufgebaut. Die Kollektortheile bestehen aus Kupferguss und sind von einander und von der Büchse in der Regel durch Pressspan isolirt. Die Kollektorbüchse sitzt auf der Welle. Eine eigene Bürstenvorrichtung ermöglicht, vermittels eines Wurmgewindes eine äußerst bequeme und sichere Handhabung der Bürsten. Die Maschinen besitzen für größere Leistungen mehrere Bürsten nebeneinander. Das Auswechseln und die Einstellung einzelner Bürsten können während des Betriebes anstandslos vorgenommen werden. Die in der Figur 271a ersichtliche Riemenspannvorrichtung hat eine einfachste Konstruktion.

Die Lager sind mit selbsthätiger Ringschmierung versehen. Das System der Lager mit Ringschmierung, Fig. 271b und 271c besteht darin, dass über den Lagerhals der Welle je nach der Größe der Maschine ein oder mehrere Ring *r*, Fig. 271b und 271c, aus Bronce, deren Durchmesser bedeutend größer ist, als der Lagerhals, aufgehängt sind. Diese Ringe befinden sich in entsprechenden Aussparungen *a*, Fig. 271c, der Lagerschale oder Lagerbüchse, während die untere Hälfte des Umfanges derselben in eine Oelschichte, Fig. 271b, taucht. Bei einer Drehung des Lagerhalses wird jeder Ring durch seine Auflagereibung ebenfalls in drehende Bewegung versetzt und eine Oelschichte mit sich führen, die er zum großen Theile beim Laufe über den Wellenrücken abgibt und diesen dadurch reichlich schmiert. Der Lagerständer ist hohl und bei größeren Maschinen zumtheile mit Wasser, Fig. 271b, gefüllt, auf welches Oel gegossen wird. Das vom Lager ablaufende Oel gelangt wieder in den Hohlraum des Lagerständers zurück und dient von Neuem zur Schmierung. Etwaige Unreinigkeiten setzen sich am Boden des Lagerständers ab; dadurch bleibt die Oelschichte immer rein. Durch eine am unteren Ende des Lagerständers angebrachte Oeffnung kann die Flüssigkeit leicht abgelassen werden.

Die Ringschmierung bietet folgende Vortheile:

1. Das Lager schmiert sich vollständig selbstthätig und sehr ausgiebig.

2. Die Wartung des Lagers beschränkt sich auf eine Reinigung und Neufüllung des Oelbehälters nach monatelangem Betriebe.

3. Der Oelverbrauch ist trotz reichlicher Schmierung ein ganz geringer, da dasselbe Oel immer wieder zur Verwendung kommt.

Alle anderen Schmiervorrichtungen bedingen ein öfteres Nachfüllen der Schmiergefäße. Da beim Füllen, beziehungsweise Nachfüllen, der Schmiergefäße sehr häufig Oel vergossen wird und das Nachfüllen bei der Ringschmierung äußerst selten erforderlich ist, können bei der letzteren Schmierung in großen Betrieben hohe Beträge erspart werden.

Diese Maschinen der obigen Firma wurden zuerst von mir, seit dem Jahre 1888, in den verschiedenen Größen von 200 bis 25.000 Watt berechnet und finden mit den verschiedensten Spannungen und Schaltungen für Licht und Kraft Verwendung.

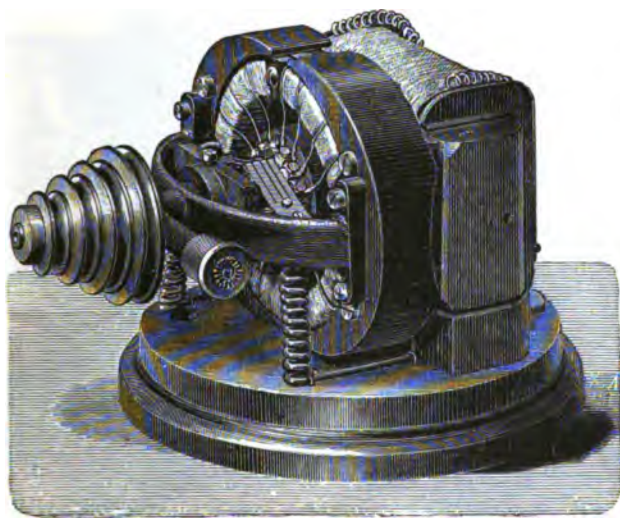


Fig. 272.

185. Die K-Motoren von Siemens & Halske, Fig. 272, sind kleine Motoren einfachster Konstruktion. Das Magnetgestell besteht aus einem einzigen Gussstücke. Die Polschuhe umfassen den Grammering sichelförmig. Die Stromabnahme erfolgt durch Kupfer- oder Kohlenbürsten; letztere poliren den Kollektor ohne jede Abnützung. Zur Schmierung dient konsistentes Fett, so dass die Motoren wochenlang ohne jede Wartung arbeiten. Der Motor wird auf ein Holzbrett montirt, lauft geräuschlos und kann in jeder Lage an der Wand, am Fußboden oder auf Konsolen befestigt werden. Auch zum direkten Antriebe von Arbeitsmaschinen sind diese Motoren vorzüglich geeignet. Die Firma baut diese Kraftmaschinen in 4 Größen und zwar für 0·1, 0·2, 0·5 und 1 Pferdestärke. Vom kleinsten bis zum größten Modelle variren

die Umdrehungszahlen zwischen 2000 und 1000; die Motoren stehen zu Tausenden in praktischer Verwendung.

186. Die Manchestermaschine der Firma Kremenezky, Mayer & Co. in Wien. Die Figur 273 stellt ein Bild dieser Konstruktion dar. Die cylindrischen Magneteisenkerne bestehen aus Schmiedeeisen, das obere Joch und das obere Polstück bilden ein Gussstück aus Gusseisen. Die Magneteisenkerne sind entweder zwischen die beiden Joche

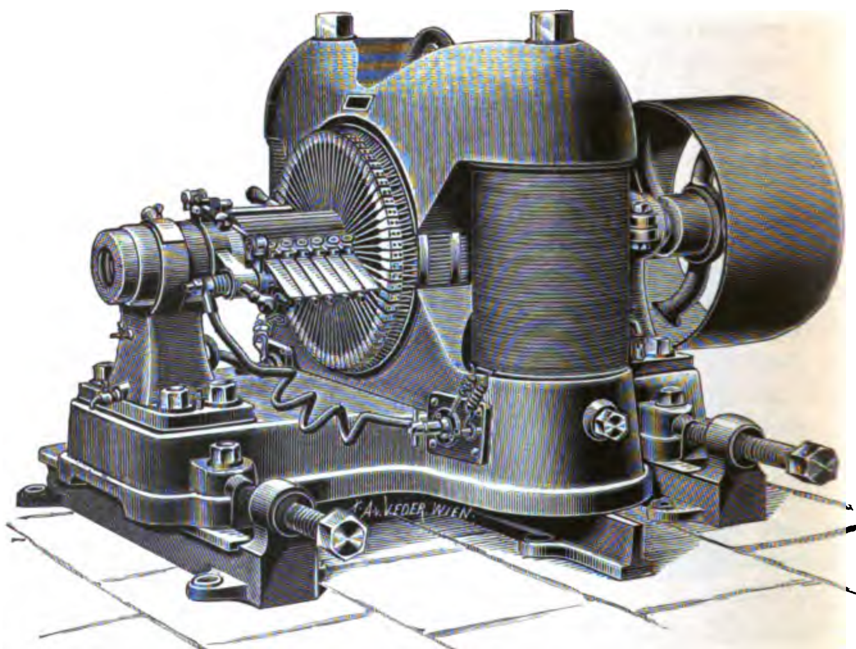


Fig. 273.

verschraubt oder in dieselben eingesetzt und verschraubt. Das perspektivische Bild, Fig. 273, zeigt auf dem oberen Joche 2 Schrauben; dieselben dienen, sowie die seitlich an dem unteren Joche ersichtliche Schraube, zur Befestigung des Magneteisenkernes in dem Magnetkörper. Das untere Joch sammt dem Polschuh, der Lagerplatte und den Lagerständern bestehen aus einem Gussstücke. Der magnetische Widerstand der 4 Trennungsflächen zwischen den Eisenkernen und Jochen ist durch genaues Auftouchiren derselben auf einen kleinsten Wert herabgesetzt. Die zumeist glatten Grammeringe sind mit Kupferdrähten oder, für größere Leistungen, mit vierkantigen Kupferstäben bewickelt. Die Lager sind mit Ringschmierung versehen. Die Maschinen werden in

den verschiedensten Größen von 2000 bis 75000 Watt bei 2000 bis 500 Umdrehungen in der Minute in den verschiedensten Schaltungen für Beleuchtung und Kraftübertragung ausgeführt. Auf die mechanische Ausführung und auf die Ausstattung der Maschinen ist die größte Sorgfalt verwendet.

Die folgenden Angaben über eine 25 Kilowattmaschine verdanke ich einer freundlichen Mittheilung der obigen Firma.

25 Kilowatt, größte Leistung,
220 Ampère, größte Stromstärke,
115 Volt, Klemmenspannung,
560 Umdrehungen in der Minute,
4 Ampère, Magnetstrom,
500 *mm*, äußerer Durchmesser des Ankereisens,
290 *mm*, innerer Durchmesser des Ankereisens,
36000 *mm*, Querschnitt des Ankers,
10700 *C G S* Einheiten, Sättigungsgrad im Ankereisen,
2·75 Ampère für 1 mm^2, Beanspruchung des Ankerdrahtes,
860 Watt, Energieverlust in den Kupferdrähten des Ankers,
240 *mm*, Durchmesser des Magneteisens,
430 *mm*, Länge des Magneteisens,
523 *mm*, Durchmesser der Bohrung,
8200 *C G S* Einheiten, Sättigungsgrad im Magneteisen,
1·57 Ampère für 1 mm^2, Beanspruchung des Magnetdrahtes,
178 *kg*, Gesammtgewicht des Kupferdrahtes,
362 Watt, Leistung für 1 *kg* des Ankerkupfers,
140·4 Watt, Leistung für 1 *kg* des Gesammtkupfergewichtes,
10 Watt, Leistung für 1 *kg* des Gesammtgewichtes,
675 Watt, für 1 effektive Pferdekraft,
17600 Ampèrewindungen auf dem Anker,
19800 Ampèrewindungen auf den Magneten,
34° C., Erwärmung des Ankers bei Dauerleistung,
28° C., Erwärmung der Magnete bei Dauerleistung,
2500 *kg*, Gesammtgewicht der Maschine,
95 %, Elektrischer Wirkungsgrad,
91·7 %, Mechanischer Wirkungsgrad,
170 *mm*, Durchmesser des Kollektors,
220 *mm*, Länge des Kollektors,
4 Stück, Anzahl der nebeneinanderliegenden Bürsten,
6·5 × 30 *mm*, Bürstenauflagefläche für 1 Bürste,
2 ½" engl., Durchmesser der Welle im Riemenscheibenlager,
2 ½" engl., Durchmesser der Welle im Kollektorlager.

Diese Maschine war in Frankfurt a./M. (1891) ausgestellt. Der glatte **Grammering** derselben ist musterhaft aufgebaut. Die Kollektorlamellen bestehen aus gezogenem Kupfer. Die Bürsten sind zumeist aus Messingblechen zusammengesetzt oder aus Kupfer geflochten. Bei sämmtlichen Maschinen dieser Firma findet Schlepp-Ringschmierung Verwendung.

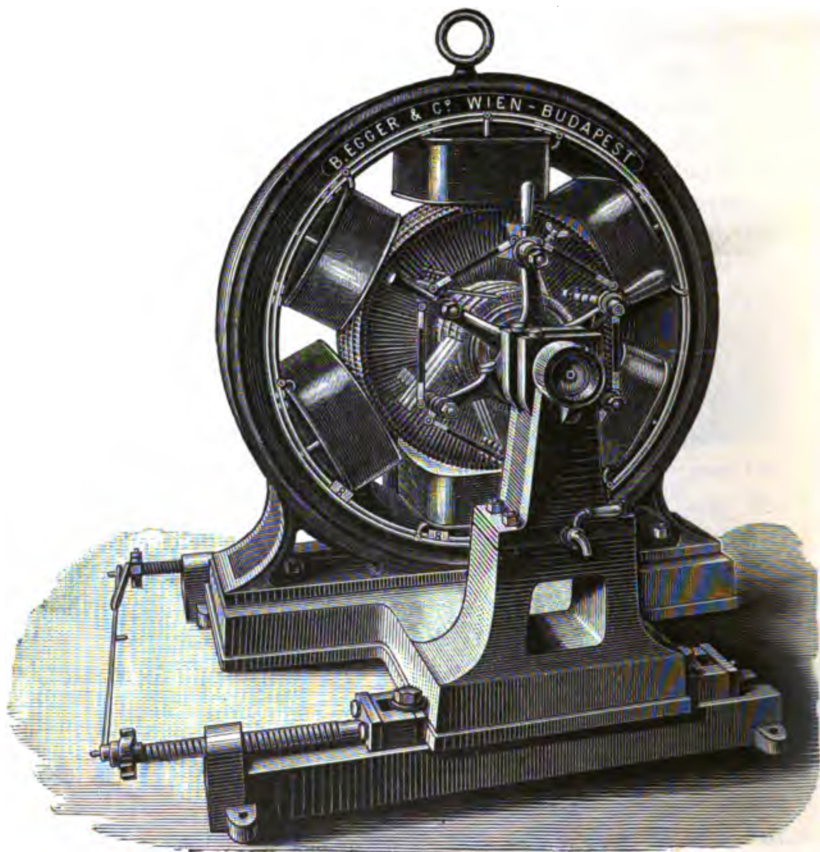


Fig. 274.

187. Die sechspolige Maschine der Firma B. Egger & Co., Fig. 274. Der Gusskörper dieser Maschine besteht aus zwei Theilen. Einen Theil bildet der Magnetkörper, den zweiten die Grundplatte mit den Lagerständern. Diese beiden Theile sind mit einander verschraubt. Die sechs Magnetkerne haben einen rechteckigen Querschnitt. Die gesammten Eisenquerschnitte sind reichlich bemessen, so dass die Streuung der Kraftlinien einen geringsten Wert erreicht. Der **Grammering** besteht aus einfachen oder mehrfachen, wohl isolirten Kupferdrähten.

Der Kollektor ist aus Kupfertheilen auf einer hohlen Büchse aufgebaut. Der Ring hat eine vorzügliche Lüftung, so dass die einzelnen Windungen mit 4 und mehr Ampère für 1 *mm*² beansprucht werden können. Zu dieser Lüftung trägt auch der verhältnismäßig große, hohle Kollektor bei. Der Bürstenapparat besteht aus einem sechstheiligen Bürstenhebel; auf den 6 Bürstenstiften sind die Bürstenhalter drehbar, untereinander isolirt verbunden, angebracht.

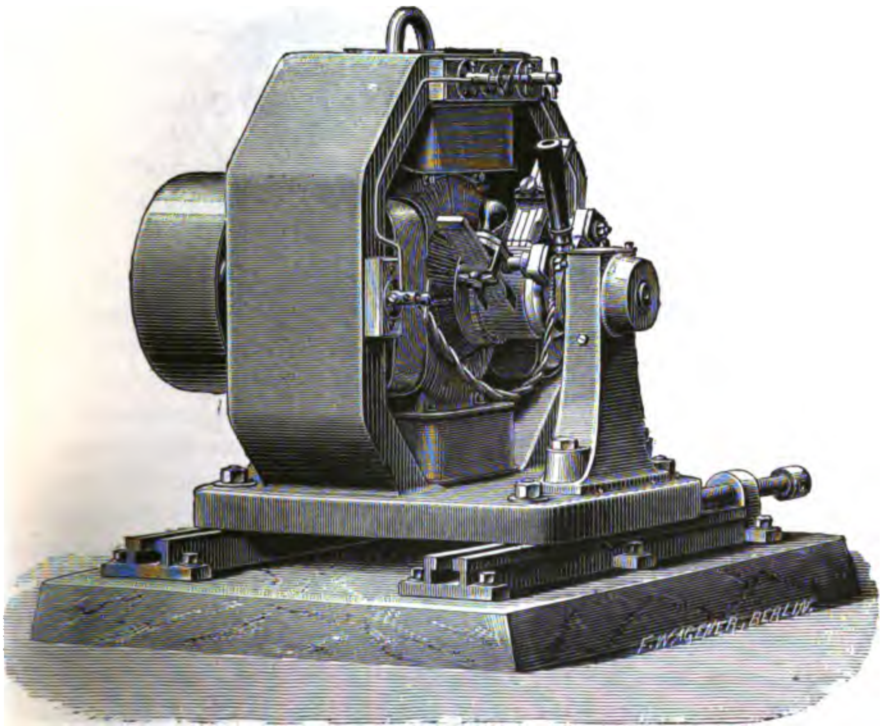


Fig. 275.

Nach Lösung der in der Fig. 274 ersichtlichen Flügelschraube kann man durch den daneben angebrachten Griff sämmtliche Bürsten gleichzeitig auflegen, abheben und verstellen.

Die oben (§ 131) angeführte Bürstenkonstruktion ermöglicht weiters ein Verstellen und Auswechseln der einzelnen Bürsten. Die Maschine arbeitet vollkommen funkenlos und besitzt ein so starkes magnetisches Feld, dass Belastungsänderungen von 10 und mehr Procent der normalen Leistung bei reiner Nebenschlussschaltung eine kaum merkliche Spannungsänderung hervorbringt. Eine doppelseitige Riemenspannvorrichtung

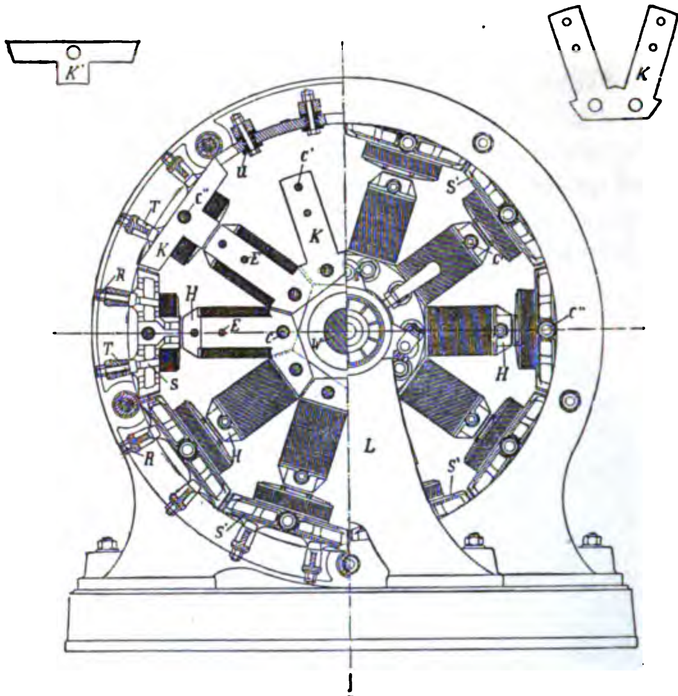


Fig. 276 a.

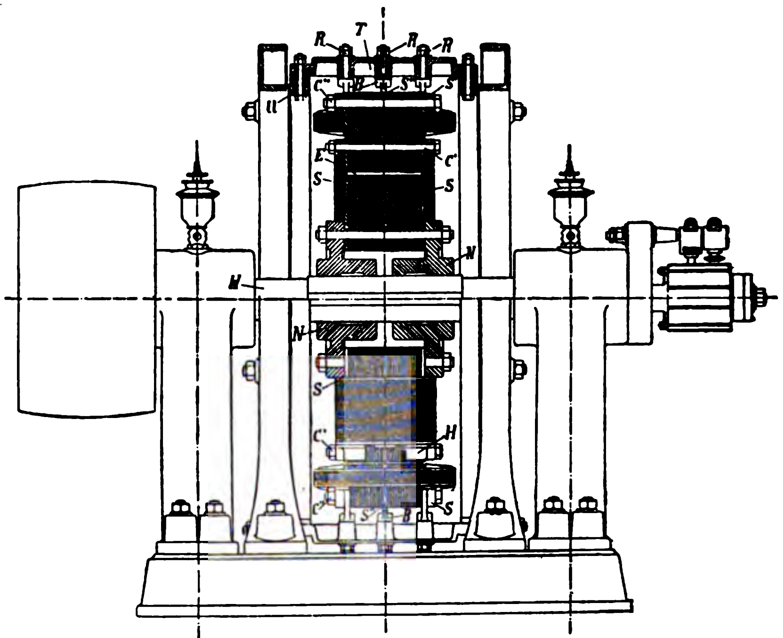


Fig. 276 b.

ermöglicht ein sicheres Nachspannen des Riemens auch während des Betriebes. Diese Maschinen wurden zuerst von mir für Leistungen über 25000 Watt berechnet.

188. Die vierpolige Maschine der Berliner Maschinenbau-Aktiengesellschaft (vorm. L. Schwartzkopff), Fig. 275.

Grundplatte und Magnetkörper bestehen aus einem Gussstücke. Die Lagerständer erscheinen mit der Grundplatte verschraubt. Der Grammering ist mit Nuthen versehen. Die gegenüberliegenden Ringabtheilungen werden miteinander verbunden, so dass, wie man in der Zeichnung erkennt, nur zwei Bürsten erforderlich sind. Bei den großen Maschinen jedoch ist die Anzahl der Bürsten (beziehungsweise vielfachen Bürsten) gleich der Anzahl der Pole.

Die Bürstenhalter sind gemeinsam verstellbar und können bei den großen Maschinen auf beiden Seiten mittels eines Handrades gedreht werden.

189. Die Wechselstrommaschine der Firma Ganz & Co. in Budapest. Die neueste Konstruktion dieser Firma Fig. 276, wird in 7 verschiedenen Größen mit den Leistungen von 10000 bis 400000 Watt bei 830 bis 125 Umdrehungen in der Minute ausgeführt. Die Maschinen von 80000 Watt aufwärts haben direkten Antrieb. Sämmtliche Maschinen arbeiten mit einer Polwechselzahl von 5000 in der Minute, die höchste Spannung beträgt 5000 Volt, die geringste Polzahl 6, die größte 40. In Fig. 276 ist eine kleinere Maschine im Längs- und Querschnitte, mit theilweisen vorderen Ansichten, wiedergegeben. Sämmtliche Maschinen haben im Wesentlichen dieselbe Einrichtung.

Hier soll die Maschine mit der größten Leistung Type A_8 (400000 Watt bei 125 Umdrehungen) beschrieben werden. Diese Maschine besteht aus einem Magnetrade, das gleichzeitig als Schwungrad der Dampfmaschine dient. Durch Umdrehung des Magnetrades innerhalb eines Spulenkranzes (Ankers) wird im letzteren Wechselstrom inducirt. Das Magnetrad besteht aus 40 Magneten, der Anker aus 40 Spulen. Das Magnetrad ist aus V-förmigen weichsten Eisenblechen K zusammengesetzt. Die V-förmigen Bleche werden so nebeneinander angeordnet, dass ein Stern entsteht.

Auf den ersten Stern werden die folgenden isolirt aufgebaut, so zwar, dass die Fugen des einen Sternes von dem Eisen des anderen überbrückt werden. Der so entstehende Eisenkern wird nun zwischen zwei Endscheiben mit dem aus 2 Theilen NN, Fig. 276 b, bestehenden Kreuze verschraubt.

Das Kreuz *NN* ist auf die Welle *W* aufgekeilt.

Die Magnetisirungsspulen werden fertig auf die Eisenkerne aufgesetzt und durch den Bolzen *c'* in dem Halter *H* gesichert. Die Zuführung des Erregerstromes erfolgt durch 2 auf der Welle isolirt befestigte eiserne Gussringe (In der Fig. 276 b durch den ersichtlichen Kollektor).

Das Magnetrad steht mittelst zweier Schraubenspindeln, auf 2 Schlitten verschiebbar, so dass durch einfache Handhabung einer Drehvorrichtung die Spulen leicht zugänglich sind. Der Ankerkern wird aus, von einander durch Papier isolirten, T-förmigen Eisenblechen K^1 zusammengesetzt, welche zwischen zwei Endscheiben S^1 und eine mittlere Scheibe durch die Schrauben *c''* verschraubt sind. Die Endscheiben und die mittlere Scheibe sind mit Verlängerungen *B* versehen, welche von dem Maschinenkörper durch die Tragschrauben *R* getragen werden, so dass jeder Eisenkern an 2 Traversen *T*, welche bei *u* isolirt an den Maschinenkörper befestigt sind, verschraubt ist. Durch diese Montage wird es ermöglicht, jeden Elektromagnet des Ankers für sich zu untersuchen oder auszuwechseln.

Ein Schluss zwischen einzelnen Ankerspulen, der nur durch den Maschinenkörper erfolgen kann, erscheint ausgeschlossen, da die einzelnen Spulen von dem Maschinenkörper bei *u* wohl isolirt sind.

Ebenso leicht wie die Theile des Ankers können die Magnetspulen demontirt werden. Zu diesem Zwecke wird irgend ein Elektromagnet des Ankers herausgenommen und das Magnetrad so lange gedreht, bis die betreffende Magnetspule desselben unterhalb der entstandenen Oeffnung steht.

Durch das Lösen des Bolzens C^1 kann dann die Magnetspule mit dem Halter *H* abgehoben werden. Von den 40 Ankerspulen sind je 20 hintereinander und die so hintereinander geschalteten Spulen parallel geschaltet. Die Armaturdrähte sind mehrfach mit Baumwolle umsponnen. Da in den bewegten Theilen der Maschine niedere Spanuungen herrschen, erscheinen dieselben zur Erzeugung hochgespannter Ströme vorzüglich geeignet. Die wichtigsten Angaben über die Type A_8 sind in Folgendem zusammengestellt:

3 *m* Durchmesser des Magnetrades,

10000 *kg* Gesammtgewicht der magnetisirten Eisenmasse,

2700 *kg* Gesammtkupfergewicht,

2·8 Ohm Widerstand der Magnetspulen,

0·24 Ohm Widerstand der Ankerspulen,

2·2% Verlust in den Ankerspulen,

64 Ampère Erregerstrom für die normale Leistung,

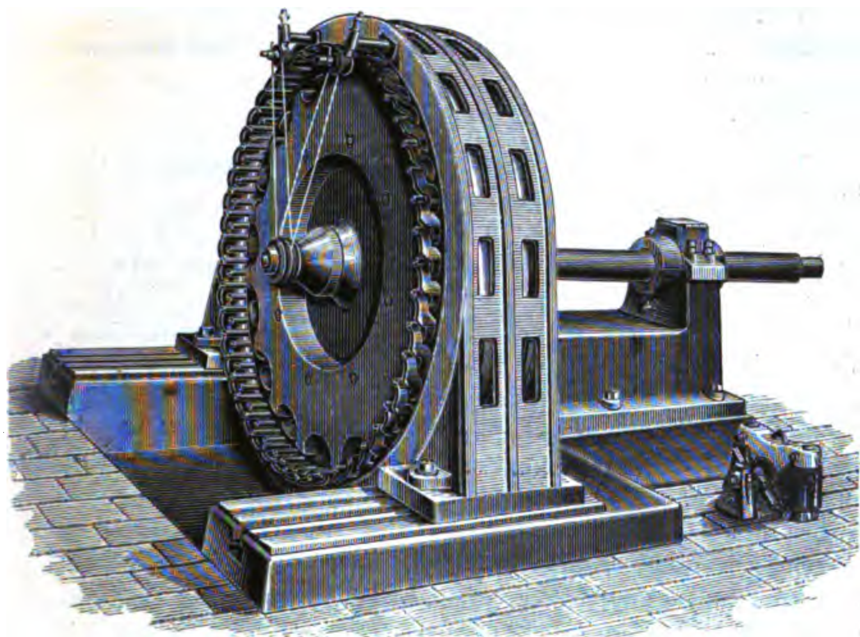


Fig. 277 a.

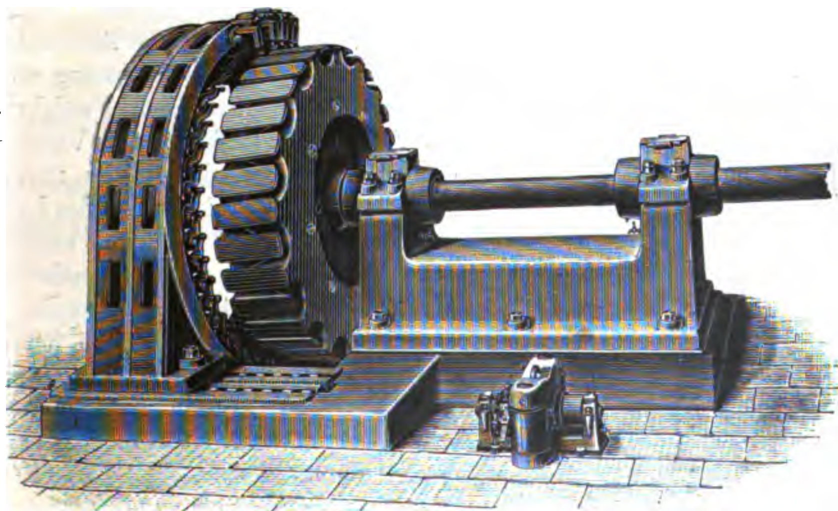


Fig. 277 b.

11400 Watt = 2·9% Erregerverlust,
10 Pferdestärken, mechanischer Leerlauf (berechnet),
30 „ „ mechanischer Leerlauf bei erregten Magneten (berechnet).
90 % absoluter Wirkungsgrad (berechnet).

190. Die Drehstrommaschine der Maschinenfabrik Oerlikon in Oerlikon. [1]) Diese Wechselstrommaschine, welche nach dem Drehstromsysteme der Allgemeinen Elektricitätsgesellschaft in Berlin von der Maschinenfabrik Oerlikon, zum Zwecke einer Kraftübertragung von Lauffen nach Frankfurt a./M. auf eine Entfernung von 175 *km* gebaut wurde, gibt in 3 Stromkreisen je 50 Volt bei 1400 Ampère und 150 Umdrehungen. Diese 3 Wechselströme sind je um 120° gegeneinander in der Phase verschoben.

Die Figuren 277 a und 277 b zeigen diese Maschinen in perspektivischer Ansicht. In Fig. 277 b erscheint der Spulenkranz der Magnete zurückgezogen. Der Anker steht fest. Die Wickelung des Ankers ist aus Stäben von 29 *mm* Durchmesser zusammengesetzt, welche durch Asbeströhren isolirt durch Oeffnungen führen, die am Umfange der Eisenblechscheiben aus denen der Anker besteht, ausgestanzt sind. Wären die Kupferstäbe auf der Oberfläche des Ankerkernes angeordnet, so müssten in denselben sehr starke Wirbelströme entstehen. Bei der obigen Anordnung zeigten selbst Versuche mit Stäben von 50 *mm* Durchmesser keinen Verlust durch Wirbelströme. Diese Ankerkonstruktion hat den großen Vorzug sehr bedeutender mechanischer Festigkeit. Da Asbest als Isolirmaterial Verwendung fand, so ist der Anker unverbrennlich. Die Verminderung des Luftzwischenraumes und die damit verbundene Verkleinerung des magnetischen Widerstandes setzen die Erregungsstromstärke nicht unwesentlich herab. Den 32 Feldmagnetpolen entsprechend, besteht jeder Stromkreis des Ankers aus 32 Kupferbarren, welche durch Querverbindungen hintereinander geschaltet sind. Der Anker ist von einem Gusseisenrahmen umgeben; der letztere steht auf einem Gleitbrette, sodass sich die Maschine leicht auseinander ziehen lässt. Das Magnetsystem besteht wesentlich



Fig. 277 c.

[1]) Elektrotechnische Zeitschrift, Berlin, 1892, Seite 379 ff.

Tafel.

Art des Stromes	—	Gleichstrom	Wechselstrom	Drehstrom
Art der Pole	—	Außenpole	Flachring	Innenpole
Anzahl der Pole	—	2	14	32
Leistung in	Kilowatt	50	60	200
Stromstärke in	Ampère	400	30	1400 für 1 Leitung
Klemmenspannung in	Volt	125	2000	50 Schenkelspannung (unverkettet)
Umdrehungszahlen in der	Minute	500	500	150
Durchmesser des Ankereisens in	*mm*	515	1200	—
Querschnitt des Ankereisens in	*cm*²	470	140	—
Sättigungsgrad im Ankereisen in	*C G S* Einheiten	14000	5000	10600
Beanspruchung des Ankerdrahtes für 1 *mm*² in	Ampère	2·6	4·2	2·2
Energieverlust im Ankerkupfer in	Watt	1320	2025	—
Querschnitt des Magneteisens in	*cm*²	615	86	—
Durchmesser der Bohrung in	*mm*	521	—	1764
Sättigungsgrad im Magneteisen in	*C G S* Einheiten	13000	10300	10000
Beanspruchung des Magnetdrahtes für 1 *mm*² in	Ampère	1·7	1·3	1·5
Gesammtgewicht des Kupferdrahtes in	*kg*	381	460	944
Leistung für 1 *kg* des Ankerkupfers in	Watt	450	1200	385
Leistung für 1 *kg* des Gesammtkupfergewichtes in	Watt	130	130	210
Leistung für 1 *kg* des Gesammtgewichtes in	Watt	15·6	17·6	18·2
Anzahl der Watt für 1 effektive Pferdekraft	Watt	680	600	690
Ampèrewindungen auf den Magneten	Ampèrewindungen	3900	2576	496
Ampèrewindungen auf dem Anker	Ampèrewindungen	60	1106	96 Drähte
Gesammtgewicht der Maschine in	*kg*	3200	3400	11000
Elektrischer Wirkungsgrad in	%	95	90	95
Mechanischer Wirkungsgrad in	%	92	85	94
Durchmesser des Kollektors in	*mm*	240	—	—
Länge des Kollektors in	*mm*	210	—	—
Anzahl der nebeneinanderliegenden Bürsten	Stück	2	—	—

aus einer mit einer Nuthe versehenen eisernen Scheibe. In dieser Nuthe befindet sich die Wickelung. Von den beiden Rändern der Scheiben gehen Polstücke aus, wie dies Fig. 277 c erkennen lässt. Die Polarität derselben ist demnach eine von Polstück zu Polstück abwechselnde. Der 32 polige Magnet besteht aus vier Theilen und zwar aus einer eisernen Scheibe, der über derselben liegenden ringförmigen Wickelung und den beiden mit den Polstücken versehenen Seitentheilen. Der Erregungsstrom wird den Feldmagneten durch zwei Metallbänder zugeführt, welche, wie aus der Figur ersichtlich ist, einerseits auf zwei isolirten Ringen, andererseits auf zwei isolirten Scheiben laufen, die mit den Klemmen in Verbindung stehen.

Das ganze Kupfergewicht der Feldmagnete beträgt 300 *kg*. Die Erregung der Maschine erfordert 1250 Watt, also ungefähr 1·6 bis 1·7% der Maximalleistung. Der Verlust durch Stromwärme im Anker beziffert sich bei voller Belastung auf 3500 Watt. Unter Berücksichtigung aller Verluste erhält man ein mechanisches Güteverhältnis von 96%. Die Erregung der Drehstrommaschine geschah durch eine in den Fig. 276 a und 276 b ersichtliche Gleichstromdynamo der Allgemeinen Elektricitätsgesellschaft, welche durch eine besondere Turbine angetrieben wurde.

Diese Maschinen finden gegenwärtig für das Elektricitätswerk in Heilbronn praktische Verwendung.

Die in der vorstehenden Tafel zusammengestellten Angaben über Gleich-, Wechsel- und Drehstrommaschinen sind mir von derselben Firma gütigst zur Verfügung gestellt worden.

Die Typen der in der Tafel angeführten Maschinen sind aus den Figuren Fig. 185, Seite 159 (Gleichstrom), Fig. 164, Seite 204 (Wechselstrom) und aus den Figuren 277 a und 277 b (Drehstrom) ersichtlich.

191. Der Drehstrommotor der Allgemeinen Elektricitätsgesellschaft in Berlin, Fig. 278. Der Strom der in § 190 beschriebenen Maschine wurde anlässlich der elektrischen Ausstellung in Frankfurt a./M. zumtheile für den Antrieb dieses Motors verwendet. Der Motor leistet bei 600 Umdrehungen 100 *P. S.*

Er besteht aus zwei ringförmigen Eisenkernen, welche aus, durch Papier von einander isolirten, Blechscheiben zusammengesetzt sind. Beide Ringe sind Locharmaturen. Der äußere Ring (Anker) enthält 138 Stäbe von je 10 *mm* Durchmesser, der innere Feldmagnet 80 Stäbe von je 20 *mm* Durchmesser. Der äußere Ring hat einen Durchmesser von 700 *mm* und ist von einem gusseisernen Gehäuse umgeben.

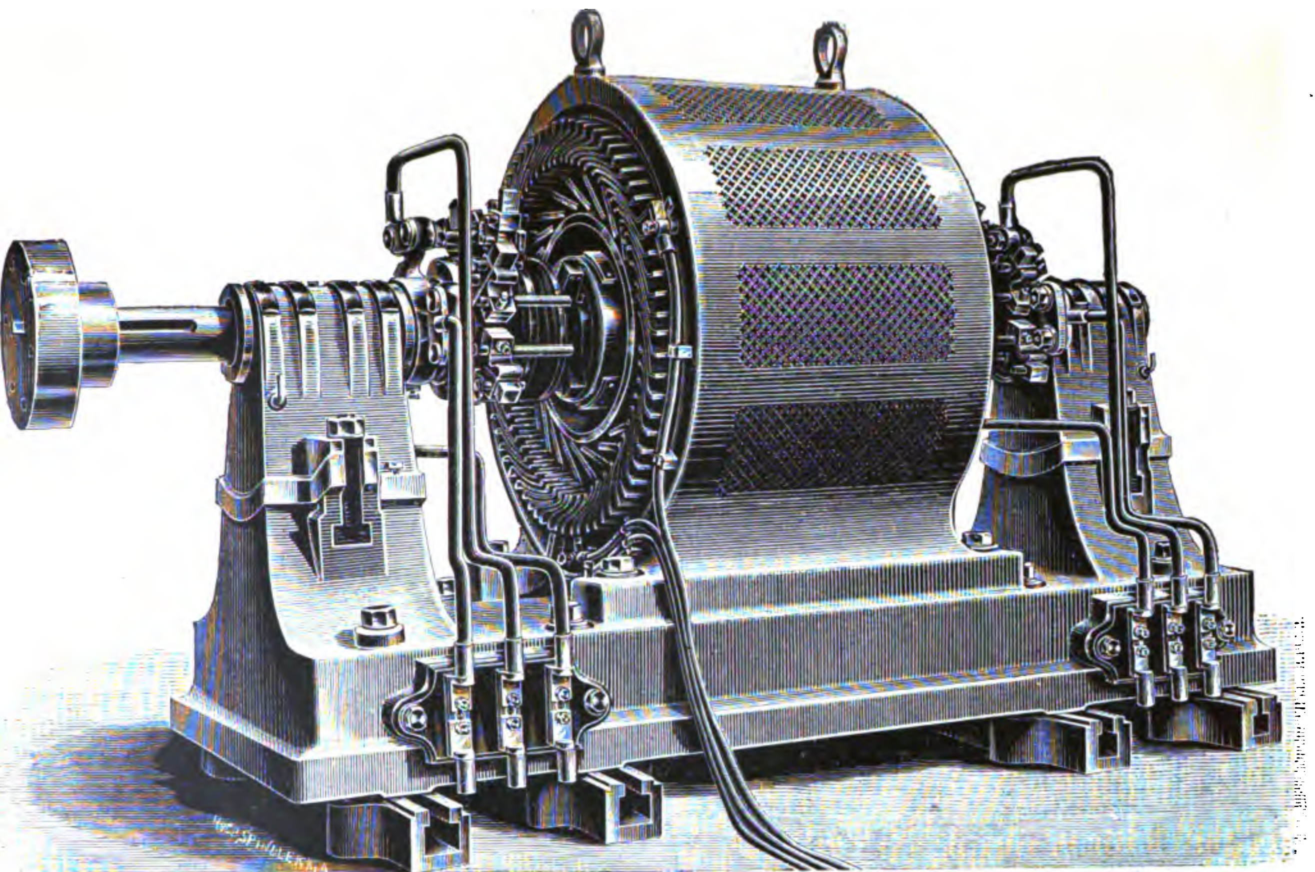


Fig. 278.

Die Anordnung des Versuches der Kraftübertragung Lauffen-Frankfurt (1891) war die folgende: In Lauffen diente ein Wasserfall zum Antriebe der in den Figuren 277a bis 277c dargestellten Dynamo mit einer Leistung von 300 Pferdekräften. Der Strom dieser Dynamo wurde auf eine Entfernung von 175 *km* nach Frankfurt auf den Ausstellungsplatz übertragen und besorgte dort den Antrieb des in Fig. 278 wiedergegebenen Motors zu 100 Pferdekräften und die Stromlieferung für eine Effektbeleuchtung mittelst Glühlicht. Der Motor war mit einer Centrifugalpumpe direkt gekuppelt, welche das Wasser für einen künstlichen Wasserfall am Ausstellungsplatze beistellte. Durch diese Anordnung erschien somit ein Wasserfall auf eine Entfernung von 175 *km* übertragen. Eine wissenschaftliche Kommission hat die Anlage geprüft, und ein Güteverhältnis von 75% bis zu den primären Klemmen der Transformatoren in Frankfurt festgestellt. Das Ergebnis obiger Versuchsanlage übertraf alle gehegten Erwartungen und gab Veranlassung zur Ausführung definitiver Einrichtungen. Besonders hervorgehoben sei hier die Uebertragung von Tausenden der Pferdekräfte des Niagarawasserfalles.

Diese großartigen Erfolge bilden den würdigen Abschluss einer Reihe epochemachender Errungenschaften der modernen elektrotechnischen Wissenschaft, sie verkünden einen vollständigen Sieg der Elektricität über sämmtliche Kräfte der Natur.

Tafel über Durchmesser, Querschnitte, Längen, Gewichte und Widerstände von Kupferdrähten.[1]

Kreisförmiger Querschnitt. Spec. Gewicht = 8·9. 1 *m* käuflicher Kupferdraht von 1 mm^2 Querschnitt angenommen zu 0·01740 Ohm bei 15° C oder zu 0·01646 Ohm bei 0° C. Leitungsfähigkeit bei 0° C. 57·1.

Durchmesser in *mm*	Querschnitt in mm^2	Meterzahl für 1 *kg*	Gewicht für 1 *m* in *g*	Widerstand für 1 *m* in Ohm	Länge für 1 Ohm in *m*
0·09	0·00636	17660	0·057	2·735	0·3657
0·10	0·00785	14304	0·070	2·215	0·4514
0·18	0·0254	4415	0·227	0·6836	1·462
0·20	0·0314	3576	0·380	0·5538	1·807
0·30	0·0707	1589	0·629	0·2472	4·063
0·35	0·0855	1168	0·856	0·1809	5·530
0·36	0·0962	1102	0·906	0·1709	5·850
0·37	0·1075	1045	0·957	0·1618	6·181
0·38	0·1134	990·6	0·010	0·1534	6·520
0·39	0·1195	940·5	1·063	0·1457	6·866
0·4	0·126	894	1·118	0·1384	7·223
0·42	0·138	810·9	1·233	0·1256	7·964
0·45	0·159	706·4	1·416	0·1094	9·141
0·5	0·196	572	1·748	0·08860	11·28
0·55	0·238	472·9	2·115	0·07323	13·66
0·6	0·283	397·2	2·510	0·06154	16·25
0·65	0·332	338·6	2·954	0·05243	19·08
0·7	0·385	292·0	3·426	0·04525	22·12
0·8	0·503	223·5	4·474	0·03463	28·90
0·9	0·636	176·6	5·663	0·02735	36·57
1·0	0·785	143·04	6·991	0·02215	45·14
1·1	0·950	117·94	8·459	0·01835	54·62
1·2	1·131	99·34	10·07	0·01539	65·00
1·3	1·327	84·64	11·810	0·01311	76·29
1·4	1·539	72·98	13·70	0·01131	88·48
1·5	1·767	63·57	15·73	0·009845	101·6
1·6	2·011	55·88	17·90	0·008653	115·6
1·7	2·270	49·50	20·20	0·007665	130·5
1·8	2·545	44·15	22·65	0·006836	146·2
1·9	2·835	39·62	25·24	0·006136	163·0

[1] F. Uppenborn, Kalender für Elektrotechniker, 1894, Seiten 102 und 103.

Durchmesser in *mm*	Querschnitt in mm^2	Meterzahl für 1 *kg*	Gewicht für 1 *m* in *g*	Widerstand für 1 *m* in Ohm	Länge für 1 Ohm in *m*
2·0	3·142	35·76	27·96	0·005538	180·5
2·1	3·462	32·44	30·83	0·005025	199·0
2·2	3·801	29·56	33·84	0·004577	218·5
2·3	4·155	27·04	36·98	0·004187	238·8
2·4	4·524	24·83	40·27	0·003845	260·1
2·5	4·909	22·89	43·69	0·003544	282·1
2·6	5·309	21·16	47·26	0·003277	305·2
2·7	5·726	19·62	50·96	0·003039	329·1
2·8	6·158	18·25	54·81	0·002826	353·9
2·9	6·605	17·01	58·79	0·002634	379·7
3·0	7·07	15·89	62·92	0·002462	406·3
3·1	7·55	14·89	67·18	0·002305	433·3
3·2	8·04	13·97	71·59	0·002163	462·3
3·3	8·55	13·14	76·13	0·002034	491·7
3·4	9·08	12·37	80·80	0·001916	521·9
3·5	9·62	11·68	85·64	0·001809	553·0
3·6	10·18	11·02	90·60	0·001709	585·0
3·7	10·75	10·45	95·71	0·001618	618·1
3·8	11·34	9·906	101·0	0·001534	652·0
3·9	11·95	9·405	106·3	0·001457	686·6
4·0	12·57	8·940	111·8	0·001385	722·3
4·1	13·20	8·509	117·5	0·001318	758·9
4·2	13·85	8·109	123·3	0·001256	796·4
4·3	14·52	7·736	129·3	0·001198	834·7
4·4	15·21	7·388	135·3	0·001145	874·0
4·5	15·90	7·064	141·6	0·001094	914·1
4·6	16·62	6·760	147·9	0·001047	955·2
4·7	17·35	6·475	154·4	0·001003	997·2
4·8	18·10	6·209	161·1	0·0009614	1040
4·9	18·86	5·958	167·9	0·0009226	1084
5·0	19·64	5·722	174·8	0·0008860	1128
5·5	23·76	4·729	211·5	0·0007323	1366
6·0	28·27	3·972	251·6	0·0006154	1625
6·5	33·18	3·386	295·4	0·0005243	1908
7·0	38·49	2·920	342·6	0·0004525	2212
7·5	44·18	2·543	393 2	0·0003939	2539
8·0	50·27	2·235	447·4	0·0003463	2890
8·5	56·75	1·980	504·1	0·0003066	3262
9·0	63·62	1·766	566·3	0·0002734	3657
9·5	70·88	1·585	630·9	0·0002455	4064
10·0	78·54	1·430	699·1	0·0002215	4514

Die Widerstände des Universalgalvanometers von Siemens & Halske sind bei den alten Instrumenten in Siemens-Einheiten, bei den neuen in Ohm ausgeführt. Für die letzteren Instrumente gilt die nachfolgende Tafel. Eine Tafel zur Umrechnung der Angaben des Instrumentes, welches mit Siemens-Einheiten ausgerüstet ist, in Ohm enthält der Kalender für Elektrotechniker von F. Uppenborn, 1887, S. 143 u. 144.

Tafel zum Universalgalvanometer von Siemens & Halske.

Ablesung α	A $\frac{150+\alpha}{150-\alpha}$	B $\frac{150-\alpha}{150+\alpha}$	Ablesung α	A $\frac{150+\alpha}{150-\alpha}$	B $\frac{150-\alpha}{150+\alpha}$	Ablesung α	A $\frac{150+\alpha}{150-\alpha}$	B $\frac{150-\alpha}{150+\alpha}$
145	59·00	0·017						
144·5	53·55	0·019	119·5	8·84	0·113	94·5	4·40	0·227
144	49·00	0·020	119	8·68	0·115	94	4·36	0·230
143·5	45·15	0·022	118·5	8·52	0·117	93·5	4·31	0·232
143	41·86	0·024	118	8·37	0·119	93	4·26	0·235
142·5	39·00	0·026	117·5	8·23	0·121	92·5	4·22	0·237
142	36·50	0·028	117	8·09	0·123	92	4·17	0·240
141·5	34·29	0·029	116·5	7·96	0·126	91·5	4·13	0·242
141	32·33..	0·031	116	7·82	0·128	91	4·08	0·245
140·5	30·58	0·033	115.5	7·69	0·130	90·5	4·04	0·247
140	29·00	0·035	115	7·57	0·132	90	4·00	0·250
139·5	27·57	0·036	114.5	7·45	0·134	89·5	3·96	0·253
139	26·27	0·038	114	7·33	0·136	89	3·92	0·255
138·5	25·09	0·040	113·5	7·22	0·139	88·5	3·88	0·258
138	24·00	0·042	113	7·11	0·141	88	3·84	0·260
137·5	23·00	0·044	112·5	7·00	0·143	87·5	3·80	0·263
137	22·08	0·045	112	6·89	0·145	87	3·76	0·266
136·5	21·22..	0·047	111.5	6·79	0·147	86·5	3·72	0·269
136	20·48	0·049	111	6·69	0·150	86	3·69	0·271
135·5	19·69	0·051	110·5	6·59	0·152	85·5	3·65	0·274
135	19·00	0·052	110	6·50	0·154	85	3·62	0·276
134·5	18·35	0·054	109·5	6·41	0·156	84·5	3·58	0·279
134	17·75	0·056	109	6·32	0·158	84	3·54	0·282
133·5	17·18	0·058	108·5	6·23	0·160	83·5	3·51	0·285
133	16·65	0·060	108	6·14	0·163	83	3·48	0·288
132·5	16·14	0·062	107·5	6·06	0·165	82·5	3·44	0·290
132	15·67	0·064	107	5·97	0·168	82	3·41	0·293
131·5	15·22	0·066	106·5	5·89	0·170	81·5	3·38	0·296
131	14·79	0·068	106	5·82	0·172	81	3·35	0·299
130·5	14·38	0·070	105·5	5·74	0·174	80·5	3·31	0·302
130	14·00	0·071	105	5·67	0·176	80	3·28	0·304
129.5	13·63	0·073	104·5	5·59	0·179	79·5	3·25	0·307
129	13·28	0·075	104	5·52	0·181	79	3·22	0·310
128·5	12·95	0·077	103·5	5·45	0·183	78·5	3·19	0·313
128	12·64	0·079	103	5·38	0·186	78	3·17	0·316
127·5	12·33..	0·081	102·5	5·31	0·188	77·5	3·14	0·319
127	12·04	0·083	102	5·25	0·190	77	3·11	0·322
126·5	11·76	0·085	101·5	5·18	0·193	76·5	3·08	0·325
126	11·50	0·087	101	5·12	0·195	76	3·05	0·327
125·5	11·24	0·089	100·5	5·06	0·198	75·5	3·03	0·330
125	11·00	0·091	100	5·00	0·200	75	3·00	0·333
124·5	10·76	0·093	99·5	4·94	0·202	74·5	2·973	0·336
124	10·54	0·095	99	4·88	0·205	74	2·947	0·339
123·5	10·32	0·097	98·5	4·82	0·207	73·5	2·921	0·342
123	10·11	0·099	98	4·77	0·209	73	2·896	0·345
122·5	9·91	0·101	97·5	4·71	0·212	72·5	2·871	0·348
122	9·72	0·103	97	4·66	0·215	72	2·846	0·351
121.5	9·53	0·105	96·5	4·61	0·217	71·5	2·822	0·354
121	9·35	0·107	96	4·55	0·220	71	2·797	0·357
120·5	9·17	0·109	95·5	4·50	0·222	70·5	2·773	0·360
120	9·00	0·111	95	4·45	0·224	70	2·750	0·364

Ablesung α	A $\frac{150+\alpha}{150-\alpha}$	B $\frac{150-\alpha}{150+\alpha}$	Ablesung α	A $\frac{150+\alpha}{150-\alpha}$	B $\frac{150-\alpha}{150+\alpha}$	Ablesung α	A $\frac{150+\alpha}{150-\alpha}$	B $\frac{150-\alpha}{150+\alpha}$
69·5	2·726	0·367	44·5	1·834	0·542	19·5	1·298	0·770
69	2·703	0·370	44	1·830	0·546	19	1·290	0·775
68·5	2·680	0·373	43·5	1·816	0·550	18·5	1·281	0·780
68	2·658	0·376	43	1·803	0·554	18	1·272	0·786
67·5	2·636	0·379	42·5	1·790	0·558	17·5	1·264	0·791
67	2·614	0·382	42	1·777	0·562	17	1·255	0·796
66·5	2·592	0·386	41·5	1·795	0·567	16·5	1·247	0·802
66	2·571	0·389	41	1·752	0·571	16	1·238	0·807
65·5	2·550	0·392	40·5	1·739	0·575	15·5	1·230	0·813
65	2·529	0·395	40	1·727	0·579	15	1·222	0·818
64·5	2·509	0·398	39·5	1·714	0·583	14·5	1·214	0·823
64	2·488	0·402	39	1·702	0·587	14	1·206	0·829
63·5	2·468	0·405	38·5	1·690	0·592	13·5	1·198	0·835
63	2·448	0·408	38	1·679	0·596	13	1·189	0·841
62·5	2·428	0·412	37·5	1·667	0·600	12·5	1·181	0·847
62	2·409	0·415	37	1·655	0·604	12	1·173	0·852
61·5	2·389	0·418	36·5	1·643	0·609	11·5	1·166	0·858
61	2·370	0·422	36	1·631	0·613	11	1·158	0·863
60·5	2·352	0·425	35·5	1·620	0·617	10·5	1·150	0·869
60	2·333	0·429	35	1·608	0·622	10	1·143	0·875
59·5	2.315	0·432	34·5	1.597	0·626	9·5	1·135	0·881
59	2·296	0·435	34	1.586	0·630	9	1·127	0·887
58·5	2·278	0·439	33·5	1.575	0·635	8·5	1·120	0·893
58	2·261	0·442	33	1·564	0·639	8	1·112	0·899
57·5	2·243	0·446	32·5	1·553	0·644	7·5	1·105	0·905
57	2·226	0·449	32	1·542	0·648	7	1·097	0·911
56·5	2·208	0·453	31·5	1·531	0·653	6·5	1·090	0·917
56	2·191	0·456	31	1·521	0·657	6	1·083	0·923
55·5	2·174	0·460	30·5	1.510	0·662	5·5	1·076	0·929
55	2·158	0·463	30	1.500	0·667	5	1·068	0·935
54·5	2·141	0·467	29·5	1·489	0·671	4·5	1·061	0·942
54	2·125	0·471	29	1·479	0·676	4	1·054	0·948
53·5	2·109	0·474	28·5	1·469	0·681	3·5	1·047	0·954
53	2·093	0·478	28	1·459	0·685	3	1·040	0·960
52·5	2·077	0·481	27·5	1·449	0·690	2·5	1·033	0·967
52	2·061	0·485	27	1·439	0·695	2	1·027	0·974
51·5	2·045	0·489	26·5	1·429	0·700	1·5	1·020	0·980
51	2·030	0·492	26	1·419	0·705	1	1·013	0·987
50·5	2·015	0·496	25·5	1·409	0·709	0·5	1·006	0·993
50	2·000	0·500	25	1·400	0·714	0	1	1
49·5	1·985	0·504	24·5	1·390	0·719			
49	1·970	0·508	24	1·380	0·724			
48·5	1·955	0·511	23·5	1·371	0·729			
48	1·941	0·515	23	1·362	0·734			
47·5	1·926	0·519	22·5	1·352	0·739			
47	1·913	0·523	22	1·343	0·744			
46·5	1·898	0·527	21·5	1·334	0·749			
46	1·884	0·531	21	1·325	0·754			
45·5	1·870	0·535	20·5	1·316	0·760			
45	1·857	0·538	20	1·307	0·765			

Tafel der Quadrate, Cuben, Quadrat- und Cubikwurzeln, Reciproken und natürlichen Logarithmen der natürlichen Zahlen von 1 bis 100.

a	a^2	a^3	$\sqrt{a}$	$\sqrt[3]{a}$	$\frac{1}{a}$	log. nat. a
0	0	0	0·0000	0·0000	∞	— ∞
1	1·00	1	1·0000	1·0000	1·00000	0·0000
2	4·00	8	1·4142	1·2599	0·50000	1·6931
3	9·00	27	1·7321	1·4422	0·33333	1·0986
4	16·00	64	2·0000	1·5874	0·25000	1·3863
5	25·00	125	2·2361	1·7100	0·20000	1·6094
6	36·00	216	2·4495	1·8171	0·16667	1·7918
7	49·00	343	2·6458	1·9129	0·14286	1·9459
8	64·00	512	2·8284	2·0000	0·12500	2·0794
9	81·00	729	3·0000	2·0801	0·11111	2·1972
10	100·00	1000	3·1623	2·1544	0·10000	2·3026
11	121·00	1331	3·3166	2·2240	0·09091	2·3979
12	144·00	1728	3·4641	2·2894	0·08333	2·4849
13	169·00	2197	3·6056	2·3513	0·07692	2·5649
14	196·00	2744	3·7417	2·4101	0·07143	2·6391
15	225·00	3375	3·8730	2·4662	0·06667	2·7081
16	256·00	4096	4·0000	2·5198	0 06250	2·7726
17	289·00	4913	4·1231	2·5713	0·05882	2·8332
18	324·00	5832	4·2426	2·6207	0·05556	2·8904
19	361·00	6859	4·3589	2·6684	0·05263	2·9444
20	400 00	8000	4·4721	2·7144	0·05000	2·9957
21	441·00	9261	4·5826	2·7589	0·04762	2·0445
22	484.00	10648	4·6904	2·8020	0·04545	3·0910
23	529.00	12167	4·7958	2·8439	0·04348	3·1355
24	576.00	13824	4·8990	2·8845	0·04167	3·1781
25	625.00	15625	5·0000	2·9240	0·04000	3·2189
26	676.00	17576	5·0990	2·9625	0·03846	3·2581
27	729.00	19683	5·1962	3.0000	0·03704	3·2958
28	784.00	21952	5·2915	3·0366	0·03571	3·3322
29	841.00	24389	5·3852	3·0723	0·03448	3·3673
30	900.00	27000	5·4772	3·1072	0·03333	3·4012
31	961.00	29791	5·5678	3·1414	0·03226	3·4340
32	1024.00	32768	5·6569	3·1748	0·03125	3·4657
33	1089.00	35937	5·7446	3·2075	0·03030	3·4965
34	1156.00	39304	5·8310	3·2396	0·02941	3·5264
35	1225.00	42875	5·9161	3·2711	0·02857	3·5553
36	1296.00	46656	6·0000	3·3019	0·02778	3·5835
37	1369.00	50653	6·0828	3·3322	0·02703	3·6109
38	1444.00	54872	6·1644	3·3620	0 02632	3·6376
39	1521.00	59319	6·2450	3·3912	0·02564	3·6636
40	1600.00	64000	6·3246	3·4200	0·02500	3·6889
41	1681.00	68921	6·4031	3·4482	0·02439	3 7136
42	1764.00	74088	6·4807	3·4760	0·02381	3·7377
43	1849.00	79507	6·5574	3·5034	0·02326	3·7612
44	1936.00	85184	6·6332	3·5303	0·02273	3·7842
45	2025.00	91125	6·7082	3·5569	0·02222	3·8067
46	2116.00	97336	6·7823	3·5830	0·02174	3·8286
47	2209·00	103823	6·8557	3·6088	0·02128	3·8501
48	2304.00	110592	6·9282	3·6342	0·02083	3·8712
49	2401.00	117649	7·0000	3·6593	0 02041	3 8918
50	2500.00	125000	7·0711	3·6840	0·02000	3·9120

a	a^2	a^3	$\sqrt{a}$	$\sqrt[3]{a}$	$\frac{1}{a}$	log. nat. a
51	2601	132651	7·1414	3.7084	0·01961	3·9318
52	2704	140608	7·2111	3.7325	0·01923	3·9512
53	2809	148877	7·2801	3.7563	0·01887	3·9703
54	2916	157464	7·3485	3.7798	0·01852	3·9890
55	3025	166375	7·4162	3·8030	0·01818	4·0073
56	3136	175616	7·4833	3·8259	0·01786	4·0254
57	3249	185193	7·5498	3·8485	0·01754	4·0431
58	3364	195112	7·6158	3·8709	0·01724	4·0604
59	3481	205379	7·6811	3·8930	0·01695	4·0775
60	3600	216000	7·7460	3·9149	0·01667	4·0943
61	3721	226981	7·8102	3·9365	0·01639	4·1109
62	3844	238328	7·8740	3·9579	0·01613	4·1271
63	3969	250047	7·9373	3·9791	0·01587	4·1431
64	4096	262144	8·0000	4·0000	0·01563	4·1589
65	4225	274625	8·0623	4·0207	0·01538	4·1744
66	4356	287496	8·1240	4·0412	0·01515	4·1897
67	4489	300763	8·1854	4·0615	0·01493	4·2047
68	4624	314432	8·2462	4·0817	0·01471	4·2195
69	4761	328509	8·3066	4·1016	0·01449	4·2341
70	4900	343000	8·3666	4·1213	0·01429	4·2485
71	5041	357911	8·4261	4·1408	0·01408	4·2627
72	5184	373248	8·4853	4·1602	0·01389	4·2767
73	5329	389017	8·5440	4·1793	0·01370	4·2905
74	5476	405224	8·6023	4·1983	0·01351	4·3041
75	5625	421875	8·6603	4·2172	0·01333	4·3175
76	5776	438976	8·7178	4·2358	0·01316	4·3307
77	5929	456533	8·7750	4·2543	0·01299	4·3438
78	6084	474552	8·8318	4·2727	0·01282	4·3567
79	6241	493039	8·8882	4·2908	0·01266	4·3694
80	6400	512000	8·9443	4·3089	0·01250	4·3820
81	6561	531441	9·0000	4·3267	0·01235	4·3944
82	6724	551368	9·0554	4·3445	0·01220	4·4067
83	6889	571787	9·1104	4·3621	0·01205	4·4188
84	7056	592704	9·1652	4·3795	0·01190	4·4308
85	7225	614125	9·2195	4·3968	0·01176	4·4427
86	7396	636056	9·2736	4·4140	0·01163	4·4543
87	7569	658503	9·3274	4·4310	0·01149	4·4659
88	7744	681472	9·3808	4·4480	0·01136	4·4773
89	7921	704969	9·4340	4·4647	0·01124	4·4886
90	8100	729000	9·4868	4·4814	0·01111	4·4998
91	8281	753571	9·5394	4·4979	0·01099	4·5109
92	8464	778688	9·5917	4·5144	0·01087	4·5218
93	8649	804357	9·6437	4·5307	0·01075	4·5326
94	8836	830584	9·6959	4·5468	0·01064	4·5433
95	9025	857375	9·7468	4·5629	0·01053	4·5539
96	9216	884736	9·7980	4.5789	0·01042	4·5643
97	9409	912673	9·8489	4·5947	0·01031	4·5747
98	9604	941192	9·8995	4·6104	0·01020	4·5850
99	9801	970299	9·9499	4·6261	0·01010	4·5951
100	10000	1000000	10·0000	4·6416	0·01000	4·6052

Tafel der Kreisumfänge und Kreisflächen der Kreisdurchmesser von 0·02 bis 100.

d	πd	$\frac{\pi}{4} d^2$	d	πd	$\frac{\pi}{4} d^2$	d	πd	$\frac{\pi}{4} d^2$
0·02	0·0628	0·0003	3·7	11·624	10·752	8·5	26·70	56·75
0·04	0·1257	0·0013	3·8	11·938	11·341	8·6	27·02	58·09
0·06	0·1885	0·0028	3·9	12·252	11·946	8·7	27·33	59·45
0·08	0·2513	0·0050	4·0	12·566	12·566	8·8	27·65	60·82
0·09	0·2827	0·0064	4·1	12·881	13·203	8·9	27·96	62.21
0·1	0·3142	0·0079	4·2	13·195	13·854	9·0	28·27	63·62
0·15	0·4712	0·0177	4·3	13·509	14·522	9·1	28·59	65·04
0·2	0·6283	0·0314	4·4	13·823	15·205	9·2	28·90	66·48
0·25	0·7854	0·0491	4·5	14·137	15·904	9·3	29·22	67·93
0·3	0·9425	0·0707	4·6	14·451	16·619	9·4	29·53	69·40
0·35	1.0996	0·0962	4·7	14·765	17·349	9·5	29·85	70·88
0·4	1·2566	0·1257	4·8	15·080	18·096	9·6	30·16	72·38
0·45	1·4137	0·1590	4·9	15·394	18·857	9·7	30·47	73·90
0·5	1·5708	0·1964	5·0	15·708	19·635	9·8	30·88	75·43
0·55	1·7279	0·2376	5·1	16·022	20·428	9·9	31·10	76 98
0·6	1·885	0·283	5·2	16·336	21·237	10·0	31·42	78·54
0·65	2·042	0·332	5·3	16·650	22·062	10·1	31·73	80·12
0·7	2·199	0·385	5·4	16·965	22·902	10·2	32·04	81·72
0·75	2·356	0·442	5·5	17·279	23·758	10·3	32·36	83·32
0·8	2·513	0·503	5·6	17·593	24·630	10·4	32·67	84·95
0·9	2·827	0·636	5·7	17·907	25·5518	10·5	32·99	86·59
1·0	3·142	0·785	5·8	18·221	26·421	10·6	33·30	88·25
1·1	3·456	0·950	5·9	18·535	27·340	10·7	33·62	89·92
1·2	3·770	1·131	6·0	18·85	28·27	10·8	33·93	91·61
1·3	4·084	1·327	6·1	19·16	29·22	10·9	34·24	93·31
1·4	4·398	1·539	6·2	19·48	30·19	11·0	34·56	95·03
1·5	4 712	1.767	6·3	19·79	31·17	11·1	34·87	96·77
1·6	5·027	2·011	6·4	20·11	32·17	11·2	35·19	98·52
1·7	5·341	2 270	6·5	20·42	33·18	11·3	35·50	100·29
1·8	5·655	2 545	6·6	20·74	34·21	11·4	35·81	102·07
1·9	5·969	2 835	6·7	21·05	35·26	11·5	36·13	103·87
2·0	6·283	3·142	6·8	21·36	36·32	11·6	36·44	105·68
2·1	6·597	3·464	6·9	21·68	37·39	11·7	36·76	107·51
2·2	6·912	3·801	7·0	21·99	38·48	11·8	37·07	109·36
2·3	7·226	4·155	7·1	22·31	39·59	11·9	37·39	111·22
2·4	7·540	4·524	7·2	22·62	40·72	12·0	37·70	113·10
2·5	7·854	4·909	7·3	22·93	41·85	12·1	38·01	114·99
2·6	8·168	5·309	7·4	23·25	43·01	12·2	38·33	116·90
2·7	8·482	5·726	7·5	23·56	44·18	12·3	38·64	118·82
2·8	8 797	6·158	7·6	23·88	45·36	12·4	38·96	120·76
2·9	9·111	6·605	7·7	24·19	46·57	12·5	39·27	122·72
3·0	9·425	7·069	7·8	24·50	47·78	12·6	39·58	124·69
3·1	9·739	7·548	7·9	24·82	49·02	12·7	39·90	126·68
3·2	10·053	8·042	8·0	25·13	50·27	12·8	40·21	128·68
3·3	10·367	8·553	8·1	25·45	51·53	12·9	40·53	130·70
3·4	10·681	9·079	8·2	25·76	52·81	13·0	40·84	132·73
3·5	10·996	9·621	8·3	26·08	54·11	13·1	41·16	134·78
3·6	11·310	10·179	8·4	26·39	55·41	13·2	41·47	136·85

d	πd	$\frac{\pi}{4} d^2$	d	πd	$\frac{\pi}{4} d^2$	d	πd	$\frac{\pi}{4} d^2$
13·3	41·78	138·93	18·6	58·43	271·72	50	157·1	1963·5
13·4	42·10	141·03	18·7	58·75	274·65	51	160·2	2042·8
13·5	42·41	143·14	18·8	59·06	277·59	52	163·4	2123·7
13·6	42·73	145·27	18·9	59 38	280·55	53	166·5	2206·2
13·7	43·04	147·41	19·0	59·69	283·53	54	169·7	2290·2
13·8	43·35	149·57	19·1	60·00	286·52	55	172·8	2375·8
13·9	43·67	151·75	19·2	60·32	289·53	56	175·9	2463·0
14·0	43·98	153·94	19·3	60·63	292·55	57	179·1	2551·8
14·1	44·30	156·15	19·4	60·95	295·59	58	182·2	2642·1
14·2	44·61	158·37	19·5	61·26	298·65	59	185·4	2734·0
14·3	44·93	160·61	19·6	61·58	301·72	60	188·5	2827·4
14·4	45·24	162·86	19·7	61·89	304·81	61	191·6	2922·5
14·5	45·55	165·13	19·8	62·20	307·91	62	194·8	3019·1
14·6	45·87	167·42	19·9	62·52	311·03	63	197·9	3117·3
14·7	46·18	169.72	20·0	62·83	314·16	64	201·1	3217·0
14·8	46·50	172·03	20·1	63·15	317·31	65	204·1	3318·3
14·9	46·81	174·37	20·2	63·46	320·47	66	207·4	3421·2
15·0	47·12	176·72	20·3	63·77	323·66	67	210·5	3525·7
15·1	47·44	179·08	20·4	64·09	326·85	68	213·6	3631·7
15·2	47·75	181·46	20·5	64·40	330·06	69	216·8	3739.3
15·3	48·07	183·85	20·6	64·72	333·29	70	219·9	3848·5
15·4	48·38	186·27	20·7	65·03	336·54	71	233·1	3959·2
15·5	48·70	188·67	20·8	65·35	339·80	72	226·2	4071·5
15·6	49·01	191·13	20·9	65·66	343·07	73	229·3	4185·4
15·7	49·32	193·59	21	65·97	346·36	74	232·5	4300·8
15·8	49·64	196·07	22	69·12	380·13	75	235·6	4417·9
15·9	49·95	198·56	23	72·26	415·48	76	238·8	4536·5
16·0	50·27	201·06	24	75·40	452·39	77	241·9	4656·6
16·1	50·58	203·58	25	78·54	490·87	78	245·0	4778·4
16·2	50·89	206·12	26	81·68	530·93	79	248·2	4901·7
16·3	51·21	208·67	27	84·82	572·56	80	251·3	5026·6
16·4	51·52	211·24	28	87·97	615·75	81	254·5	5153·0
16·5	51·84	213 83	29	91·11	660·52	82	257·6	5281·0
16·6	52·15	216·42	30	94·25	706·86	83	260·8	5410·6
16·7	52·47	219·04	31	97·39	754·77	84	263·9	5541·8
16·8	52·78	221·67	32	100·53	804·25	85	267·0	5674·5
16·9	53·09	224·32	33	103·67	855·30	86	270·2	5808·8
17·0	53·41	226 98	34	106·81	907·92	87	273·3	5944·7
17·1	53·72	229·66	35	109·96	962·11	88	276·5	6082·1
17·2	54·04	232·35	36	113·10	1017·9	89	279·6	6221·1
17·3	54·35	235·06	37	116·24	1075·2	90	282·7	6361·7
17·4	54·66	237·79	38	119·38	1134·1	91	285·9	6503·9
17·5	54·98	240·53	39	122·52	1194·6	92	289·0	6647·6
17·6	55·29	243·29	40	125·66	1256·6	93	292·2	6792·9
17·7	55·61	246·06	41	128·88	1320·3	94	295·3	6939·8
17·8	55·92	248·85	42	132·0	1385·4	95	298·5	7088·2
17·9	56·24	251·65	43	135·1	1452·2	96	301·6	7238·2
18·0	56·55	254·47	44	138·2	1520·5	97	304·7	7389·8
18·1	56·86	257·30	45	141·4	1590·4	98	307·9	7543·0
18·2	57·18	260·16	46	144·5	1661·9	99	311·0	7697·7
18·3	57·49	263·02	47	147·7	1734·9	100	314·2	7854·0
18·4	57·80	265·90	48	150·8	1809·6			
18·5	58·12	268·80	49	153·9	1885·7			

Namen- und Sachverzeichnis.

Berichtigungen.

Seite 2, Zeile 1 v. u. lies **befasst**, statt **befasse**.
„ 23, „ 1 v. o. lies **(beinahe ganz) aufgehoben**, statt **aufgehoben**.
„ 31, „ 2 v. o. lies **Polschuhen**, statt **Polspulen**.
„ 33, „ 8 v. o. lies **versinnlichen**, statt **versinnlichten**.
„ 34, „ 5 v. o. lies **entgegengesetztgerichtete**, statt **gleichgerichtete**.
„ 35, „ 6 v. o. lies **entgegengesetzten Richtung**, statt **Richtung**.
„ 35, „ 12 v. o. lies **gleichen Richtung**, st. **entgegengesetzten Richtung**.
„ 35, „ 16 v. o. lies **Selbstinduktion**, statt **Selbinduktion**.
„ 36, „ 14 v. u. lies **entgegengesetzten Richtung**, statt **Richtung**.
„ 36, „ 8 v. u. lies **gleichen Richtung**, st. **entgegengesetzten Richtung**.
„ 42, „ 2 v. u. lies **Masse**, statt **Maße**.
„ 50, „ 16 v. o. lies $J = \frac{8+4}{3} = 4$, statt $J = \frac{8+4}{4} = 4$.
„ 52, „ 20 v. u. lies **Masse**, statt **Maße**.
„ 54, „ 11 v. u. lies **den Ausdruck**, statt **des Ausdruck**.
„ 55, „ 19 v. o. lies **Produkte aus der Kraft** p **in den Weg** s, statt **Produkte aus der Kraft** s.
„ 58, „ 9 v. o. lies **Konstante** $\frac{1}{k}$, statt **Konstante** $\frac{1}{p}$.
„ 59, „ 9 v. o. lies **derselbe**, statt **dieselbe**.
„ 63, „ 7 v. u. lies **Megafarad**, statt **Megafardd**.
„ 64, „ 28 v. u. lies **Masse**, statt **Maße**.
„ 101, „ 10 v. u. lies **konstanten**, statt **konstante**.
„ 150, „ 4 v. o. lies **Thomson**, statt **Thompson**.
„ 226, „ 14 v. u. lies **erhält man eine**, statt **erhält man einen**.

GRUNDRISS

DER

ELEKTROTECHNIK.

Für den praktischen Gebrauch,
für Studierende der Elektrotechnik und
zum Selbststudium.

Verfasst von

Heinrich Kratzert,

Ingenieur und Lehrer der Elektrotechnik an der k. k. Staatsgewerbeschule in Wien, X.

II. THEIL.

Transformatoren, Akkumulatoren, Elektrische Beleuchtung und Kraftübertragung mit besonderer Berücksichtigung der elektrischen Eisenbahnen.

Mit 281 Abbildungen.

LEIPZIG UND WIEN.
FRANZ DEUTICKE.
1895.

K. und k. Hofbuchdruckerei Karl Prochaska in Teschen.

Vorwort.

Die Quelle dieses zweiten Theiles meines „Grundriss der Elektrotechnik" bilden, sowie beim ersten Theile derselben Arbeit, Vervielfältigungen, die ich während meiner gleichzeitigen praktischen Thätigkeit als Ingenieur und als Lehrer der Elektrotechnik an der k. k. Staatsgewerbeschule im X. Wiener Gemeindebezirke verfasst und zu Unterrichtszwecken verwendet habe.

Der erste Abschnitt (Seite 1—27) enthält die wesentlichsten Lehren und praktischen Ausführungen über Wechsel-, Mehrphasen-, Gleichstrom- und Gemischte-Transformatoren. Von den praktischen Konstruktionen wurden hauptsächlich diejenigen berücksichtigt, welche in der elektrotechnischen Industrie zumeist Eingang gefunden haben.

Im zweiten Abschnitt (Seite 28—58) sind die Grundlehren und einige praktische Konstruktionen der Sammler wiedergegeben. Aus der Reihe der bisher bestehenden Konstruktionen wurden insbesondere jene eingehend behandelt, welche sich durch vieljährigen Gebrauch praktisch bewährt haben. Die vielen neuen Konstruktionen, deren Verwendbarkeit noch nicht nachgewiesen ist, wurden, wenngleich sie zum Theil von besonderem Interesse sind, übergangen.

Der dritte Abschnitt (Seite 59—269) befasst sich mit einer möglichst vollständigen Darstellung der elektrischen Beleuchtung. Die einzelnen Kapitel dieses Abschnittes sind: Allgemeine Lehren, Lampenregulatoren, Glühlampen, Glüh- und Bogenlicht, Hilfsapparate, Automaten, Kontrollapparate, Schaltbretter, Stromvertheilung, Leitungen, Beschreibung von Centralstationen und Vortheile der elektrischen Beleuchtung.

Der vierte Abschnitt (Seite 270—317) hat die elektrische Kraftübertragung im Allgemeinen und die elektrischen Eisenbahnen im Besonderen zum Gegenstande. Die elektrischen Eisenbahnen erscheinen nach den grundlegenden Systemen geordnet. In dem auf 30 Seiten über die elektrischen Eisenbahnen gesammelten Material wurden vorwiegend praktische Bedürfnisse berücksichtigt. Auf den Seiten 306—317 sind

Durchschnittspreise von Dynamomaschinen, Elektromotoren, Wechselstromtransformatoren, Akkumulatoren, Bogenlampen, Glühlampen, Rheostaten, Messinstrumenten, Schaltapparaten, Sicherungen, Isolations- und Leitungsmaterial, Zugehör zum System S. Bergmann, Kesseln, Dampfmaschinen und Gasmotoren angegeben. Eigene praktische Regeln, welche in einfachster Weise zu augenblicklichen Schätzungswerten der Kosten elektrischer Licht- und Kraftanlagen führen, schließen dieses Kapitel.

Der Anhang (Seite 318—336) bringt die Sicherheitsvorschriften des Elektrotechnischen Vereines in Wien für elektrische Starkstromanlagen und einige häufig verwendbare Tabellen.

Den Schluss bildet das Namen- und Sachverzeichnis (Seite 337—346).

In der ganzen Arbeit habe ich die gesammte Fachliteratur aus den behandelten Gegenständen und das von mir gesammelte praktische Material in thunlichst brauchbarer Form zusammengestellt, so zwar, dass dieselbe für den praktischen Gebrauch, für Studierende der Elektrotechnik und zum Selbststudium dienlich sein dürfte. Die mir so gewordene Mühewaltung würde ich als reichlich entschädigt betrachten, falls auch dieser Theil meines „Grundriss der Elektrotechnik" in Fachkreisen eine wohlwollende Beurtheilung finden sollte.

Wien, am 30. August 1894.

Der Verfasser.

Inhalts-Verzeichnis.

I. Abschnitt.

Umsetzungsapparate.

II. Abschnitt.

Sammler.

III. Abschnitt.

Die elektrische Beleuchtung.

IV. Abschnitt.

Kraftübertragung.

Anhang.

I. Abschnitt.

Umsetzungsapparate.

---

1. Kapitel.

Wechselstromumsetzer.

1. Wesen und Zweck der Transformatoren (Umformer, Umsetzer, Sekundärgeneratoren).

Die Transformatoren beruhen wesentlich, gerade so wie die magnet- und die dynamoelektrische Maschine, der Funkeninduktor von Ruhmkorff und das Telephon auf der Induktion durch Magnete (I. Seite 35 f.).

Der einfachste Transformator besteht aus einem Eisenkerne und aus zwei verschieden starken, von einander isolirten Wickelungen (I. Seite 39, Fig. 60).

Der Eisenkern umgibt entweder die Wickelung oder umgekehrt, die Wickelung den Eisenkern.

Schickt man in die dünne Wickelung einen hochgespannten Strom von niedriger Stromstärke, so kann man der dicken Wickelung einen niedrig gespannten Strom von hoher Stromstärke entnehmen und umgekehrt, schickt man in die dicke Wickelung einen niedrig gespannten Strom von hoher Stromstärke, so kann man der dünnen Wickelung einen hochgespannten Strom von niedriger Stromstärke entnehmen.

Der Transformator ermöglicht deshalb und aus den folgenden Gründen die Leitung des Stromes auf sehr große Entfernungen.

Hohe Stromstärken erfordern einen großen Querschnitt der Leitungen. Setzt man demnach den Strom für die Fernleitung auf niedrige Stromstärke und hohe Spannung um, dann werden der Kupferquerschnitt der Leitung klein und der Kupferpreis niedrig sein. Hiermit ergibt sich folgende Anordnung für die wirtschaftliche Fernleitung des Stromes:

In der Stromerzeugerstelle erzeugt man einen niedrig gespannten Strom von hoher Stromstärke, setzt diesen durch einen Transformator

in hochgespannten Strom von niedriger Stromstärke um, schickt letzteren in die Ferne und verwandelt ihn dort für Beleuchtungszwecke in niedriggespannten Strom von hoher Stromstärke, während man denselben in Elektromotoren auch direkt verwenden kann.

Sind z. B. bei 100 Volt, 500 Ampère auf eine Entfernung von 10 *km* bei 10 Volt Spannungsverlust zu übertragen, so beträgt das erforderliche Kupfergewicht der Leitung, wie spätere Rechnungen lehren werden, rund 700.000 *kg*. Da ein Kilogramm Rohkupfer etwa 70 Pfennige kostet, belaufen sich die Kupferkosten der Leitung in diesem Falle auf etwa 490.000 Mark. Diese Kosten setzt ein Umsetzer, welcher 100 Volt in 2000 Volt umsetzt (Umsetzungsverhältnis 1 : 200) auf den 200ten Theil, also auf 2450 Mark herab.

Der Transformator gestattet das Produkt aus Volt × Ampère, seinem Umsetzungsverhältnisse entsprechend, in Faktoren zu zerlegen.

In dem ersten Falle war die elektrische Leistung

100 Volt × 500 Ampère = 50.000 Voltampère,

im zweiten Falle (Umsetzungsverhältnis 1 : 200)

20.000 Volt × 2·5 Ampère = 50.000 Voltampère.

Je nach den verschiedenen Umsetzungsverhältnissen erhalten wir z. B. aus einer elektrischen Leistung von 100 Volt und 500 Ampère bei der Umsetzung auf hohe Volt

mit den Umsetzungsverhältnissen	1 : 1	100 Volt × 500 Ampère,
	1 : 20	2000 „ × 25 „ ,
	1 : 200	20000 „ × 2·5 „ u. s. w.

Aehnlich kann man auf hohe Ampère umsetzen. In der Fernleitung setzt man auf hohe Volt, in der Stromverbrauchstelle in der Regel auf hohe Ampère um.

2. Geschichtliches. Die Geschichte der Transformatoren wurde von F. Uppenborn[1]) in einer besonderen Schrift veröffentlicht.

Nach § 1 sind die Transformatoren Induktionsapparate; letztere wurden von Michael Faraday (1831) erfunden (I. Fig. 53 und 54).

Einen besonders wirksamen Induktionsapparat von Faraday stellt Fig. 1 dar. Dieser Apparat besteht aus einem in sich geschlossenen, massiven Eisenkerne, auf welchen zwei von einander getrennte Drahtspulen (die primäre und sekundäre Spule) *A* und *B* isolirt aufgewickelt sind. Schickt man in die eine Drahtspule Wechselstrom oder Gleichstrom mit Zuhilfenahme eines Stromunterbrechungsapparates, so werden in der zweiten Spule Induktionsströme erzeugt. Während beim Ruhmkorff'schen Induktionsapparate die magnetischen Kraftlinien von Pol

[1]) Geschichte der Transformatoren von F. Uppenborn, 1888.

zu Pol durch die Luft übergehen müssen, also einen sehr großen Widerstand zu überwinden haben, ist der Eisenkern dieses Apparates kreisförmig in sich geschlossen, so zwar, dass der magnetische Widerstand desselben ein kleinster wird. Die Polbildung erfolgt in diesen Apparaten, sowie in bewickelten Ringen (I. Seite 30, Fig. 45). E_1 und E_2, Fig. 1, versinnlichen die Elektroden des sekundären Stromkreises, zwischen welchen ein elektrischer Funke hervorgebracht werden kann.

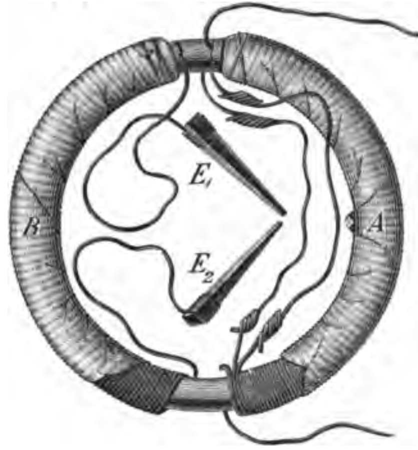


Fig. 1.

Eine praktisch angewendete Konstruktion eines Induktionsapparates ist der Funkeninduktor von Ruhmkorff (1851), welcher insbesondere für Heilzwecke Verwendung findet. In letzterem Apparate werden Ströme von niederer Spannung in solche von hoher Spannung umgesetzt. Der primäre Strom durchfließt demnach die dicken Windungen, während der Induktionsstrom in den dünnen Windungen erzeugt wird.

Pawel Nikolajewitsch Jablochkoff (1878) benutzte zuerst den Transformator zu Beleuchtungszwecken.

Die Sekundärgeneratoren von Lucien Gaulard & Gibbs (1883) stehen nur noch im Tivoli bei Rom in Verwendung. Diese Transformatoren lehnen sich an eine frühere Konstruktion von C. T. & E. B. Bright (1852 und 1878) an. Auf einem Eisenkerne sind geschlitzte Scheiben aus isolirten, dünnen Kupferblechen so aufgebaut, dass sie zwei in einander greifende Spiralen bilden. Das Uebersetzungsverhältnis dieser Apparate war 1 : 1. Der in einer Wechselstrommaschine erzeugte Strom durchfloss die primären Wickelungen der einzelnen Transformatoren in Hintereinanderschaltung; von den einzelnen sekundären Wickelungen aus waren die Lampen eingeschaltet. Bei einer Spannung von 100 Volt an jeder Lampe und 20 hintereinander geschalteten Umsetzern stellte sich die erforderliche Betriebsspannung der Wechselstrommaschine auf $100 \times 20 = 2000$ Volt.

Dieses System ergab wohl den Vortheil der Anwendung hoher Spannungen und daher geringer Leitungsquerschnitte, die einzelnen Lampengruppen waren jedoch von einander nicht unabhängig. Betrug

die primäre Stromstärke beispielsweise 20 Ampère, so mussten, da das Uebersetzungsverhältnis den Wert 1 : 1 hatte, in den sekundären Stromkreis, der Stromstärke von 20 Ampère entsprechend, Lampen eingeschaltet sein. Eine selbstthätige Regulirung bei veränderlichem Stromverbrauche war bei diesem Stromvertheilungssysteme ausgeschlossen. Die Mängel dieses, zuerst auf der Turiner Ausstellung (1884) vorgeführten, Systems wurden schon während dieser Ausstellung von Colombo und Marcel Deprez erkannt.

Ein Stromverzweigungssystem, welches frei ist von obigen Uebelständen stammt von Karl Zipernowsky, Max Déri und Otto Titus Bláthy in Budapest [1]) (Firma Ganz & Co.). Diese Erfindung bildet in der modernen Wechselstromtechnik eine neue Epoche glänzender Erfolge. Die zuletzt genannten Erfinder wenden Transformatoren mit in sich geschlossenen Eisenkernen, welche aus von einander isolirten Eisenmassen bestehen, an.

Eine neue Konstruktion ist der sogenannte Igeltransformator von Swinburne.[2]) Diese Konstruktion schlägt einen Mittelweg zwischen dem geraden und dem kreisförmig geschlossenen Transformator ein. Die von einander isolirten Eisentheile des Kernes sind an ihren Enden kugelförmig auseinandergebogen, so zwar, dass der Luftabstand zwischen den Polen im Vergleiche mit dem geraden Transformator verkleinert erscheint.

3. Grundlehren. Für jeden Induktionsapparat findet man in einfachster Weise durch Versuche folgendes Gesetz:

Die elektromotorische Kraft wächst mit der Stärke des primären Stromes, der Zahl der Windungen auf der sekundären Spule und der Geschwindigkeit der primären Stromänderungen.

Sind die Anzahl der primären und sekundären Windungen einander gleich, dann ist auch die sekundäre Spannung — bis auf geringe Verluste, die später berücksichtigt werden sollen — gleich der primären. Steigt die Anzahl der sekundären Windungen, so steigt auch die sekundäre Spannung. Durch Vermehrung der sekundären Windungen kann man demnach die sekundäre Spannung beliebig erhöhen. Es gilt demnach folgende Beziehung:

Ist die sekundäre Windungszahl gleich der primären, so muss auch die sekundäre Spannung gleich der primären sein, ist die sekundäre Windungszahl gleich der doppelten primären, so muss auch die sekundäre Spannung gleich der doppelten primären sein u. s. w.

---

[1]) Deutsches Reichspatent Nr. 40414 vom 6. März 1885.

[2]) Elektrotechnische Zeitschrift, Berlin, 1890, Seite 515.

Das Verhältnis der primären und sekundären Spannung bestimmt somit das Verhältnis der Windungszahlen der beiden Wickelungen.

Man nennt nun das Verhältnis der Anzahl der primären Windungen zu der Anzahl der sekundären Windungen das Umsetzungsverhältnis (Coëfficient der Umsetzung oder Transformationscoëfficient) des Transformators, d. h.

$$\text{Umsetzungsverhältnis } p = \frac{\text{Zahl der primären Windungen } S_1}{\text{Zahl der sekundären Windungen } S_2}.$$

Sei die primäre Spannung E_1, die sekundäre E_2, so erhalten wir, da das Verhältnis der Windungen gleich ist dem Verhältnisse der Spannungen, die Gleichung

$$p = \frac{S_1}{S_2} = \frac{E_1}{E_2}.$$

Transformatoren mit dem Umsetzungsverhältnisse 1 : 1 (primäre Spannung gleich sekundärer Spannung) haben nur für die Hintereinanderschaltung derselben eine Bedeutung. Arbeitet z. B. eine Wechselstromanlage mit 1000 Volt, so kann man 10 Transformatoren zu je 100 Volt hintereinander schalten und aus den sekundären Windungen je 100 Volt entnehmen. Diese Schaltung gewährt deshalb die Vortheile der höheren Spannung; da jedoch sämmtliche primäre Windungen der Transformatoren hintereinander geschaltet sind, erhalten dieselben immer den gleichen Strom, abgesehen davon, ob sich in dem sekundären Stromkreise Stromabnehmer befinden oder nicht. Hintereinander geschaltete Transformatoren geben demnach nur dann ein entsprechendes Güteverhältnis, wenn sämmtliche Stromabnehmer (Lampen, Motoren u. s. w.) in Thätigkeit sind.

Transformatoren mit dem Umsetzungsverhältnisse 1 : 1 in Hintereinanderschaltung würden zuerst von Gaulard & Gibbs, Transformatoren mit jedem beliebigen Umsetzungsverhältnisse, in Nebeneinanderschaltung und mit wirtschaftlichem Betriebe bei beliebigen Belastungen, von Ganz & Co. in die Praxis eingeführt.

Der Eisenkern der Transformatoren hat den Zweck, die magnetischen Kraftlinien zu leiten und dadurch die Induktionsströme zu verstärken.

Der Wechsel der Stromrichtung in der primären Spule bewirkt die Magnetisirung des Eisenkernes in wechselnder Richtung und die Erzeugung von Induktionsströmen in der sekundären Spule. Durch den Wechsel des Magnetismus werden in der sekundären Spule Induktionsströme erzeugt, welche die durch den primären Strom erzeugten, verstärken.

Bei den Sekundärgeneratoren von Gaulard & Gibbs sind die Eisenkerne verstellbar eingerichtet, so dass dieselben mehr oder weniger aus den Spulen herausgezogen werden können. Dadurch, dass mehr oder weniger Eisenmassen wirken, erscheinen die Stromverhältnisse regulirbar.

Hintereinander geschaltete Transformatoren durchfließt nach obigem immer derselbe primäre Strom, nebeneinander geschaltete jedoch ändern den primären Strom mit den verschiedenen Belastungen des sekundären Stromkreises. Bei den hintereinander geschalteten Transformatoren fließt der Strom von einem Transformator in den zweiten, dritten u. s. w., sämmtliche primäre Windungen sind bei den verschiedensten Belastungen von demselben Strome durchflossen; nebeneinander geschaltete Transformatoren sind nicht von demselben Strome, sondern von nebeneinander geschalteten Zweigströmen, durchflossen. In letzterem Falle erfolgt die selbstthätige Regulirung des Transformators in folgender Weise: Der geöffnete sekundäre Stromkreis hat keinen Einfluss auf die Thätigkeit des Apparates. Der primäre Strom magnetisirt den Eisenkern in wechselnder Richtung. Durch den wechselnden Magnetismus werden in den primären Windungen elektromotorische Kräfte wechselnder Richtung erzeugt, welche dem primären Strome entgegengesetzt gerichtet sind. Diese Ströme schwächen den primären Strom und setzen so die primäre Stromstärke bei geöffneten sekundären Windungen herab, so zwar, dass diese Stromstärke einen sehr kleinen Wert erhält.

Schließt man den sekundären Stromkreis (z. B. durch das Einschalten von Lampen in denselben), so wird derselbe von Induktionsströmen durchflossen. Steigt die primäre Stromstärke, so steigt auch die sekundäre, die Richtungen des primären und sekundären Stromes sind jedoch, nach den Regeln der Induktion (I. Seite 35) einander entgegengesetzt. Der durch beide Ströme hervorgerufene Magnetismus muss demnach durch den Unterschied in den Ampèrewindungen der beiden Stromkreise bestimmt sein. Die durch den resultirenden Magnetismus in den primären Windungen erzeugte elektromotorische Kraft wird geringer, als bei geöffnetem sekundären Stromkreise und es muss deshalb die Stromstärke in den primären Windungen ansteigen.

4. Verluste in Transformatoren. Durch den Transformator geht ein Theil der zu übersetzenden Watt verloren. Die gesammten verlorenen Watt setzen sich aus folgenden Verlusten zusammen:

1. Verluste durch den Widerstand der Wickelungen. Diese Verluste betragen etwa 2% und sind um so größer, je kleiner der Transformator ist.

2. Magnetisirungsverluste. Für praktische Zwecke kann man diese Verluste rund mit 2% annehmen. Die Magnetisirungsarbeit steigt mit zunehmender Polwechselzahl und ist nach Chas. Prot. Steinmetz[1]) der 1·6 Potenz der Magnetisirung proportional.

3. Die Verluste infolge der Wirbelströme im Kupfer und Eisen des Transformators. Der Verlust durch Wirbelströme im Eisen ist kleiner als 1%, der Verlust, verursacht durch Wirbelströme im Kupfer dagegen kann praktisch vernachlässigt werden. Der Verlust durch Wirbelströme wächst im quadratischen Verhältnisse mit der Polwechselzahl und ist der Feldstärke verkehrt proportional.

Den geringsten Spannungsverlust geben Transformatoren mit geringen Kupferverlusten (wenig Kupfer und viel Eisen), den besten Jahreswirkungsgrad dagegen Transformatoren mit geringen Eisenverlusten (viel Kupfer und wenig Eisen).

5. Praktische Regeln.[2]) Die Zahl der Kraftlimen im Eisen der Transformatoren beträgt 4000 bis 10.000 *C G S* Einheiten für 1 cm^2. Bei mehr als 10.000 *C G S* Einheiten singt der Transformator und wird heiß.

Bei den Transformatoren von Ganz & Co. kann der primäre Spannungsverlust mit 0·6 bis 1%, der sekundäre mit ·1 bis 1·1% angenommen werden.

Die Abkühlungsfläche muss mindestens 20 cm^2 für 1 Watt betragen

Die folgende Zusammenstellung gibt die Polwechselzahl in der Sekunde bei einigen praktisch ausgeführten Transformatoren an.

Zipernowsky	84	Mordey	200
Westinghouse (Bogenlicht)	120	Brush	220
Ferranti	134	Thomson-Houston	250
Kapp	160	Westinghouse (Glühlicht)	266
Lowrie Parker	176		

Für ein bestimmtes Kupfergewicht wächst die Leistungsfähigkeit eines Transformators mit der Anzahl der Polwechsel; dabei ist jedoch zu berücksichtigen, dass eine größere Polwechselzahl eine Vermehrung des Eisens erfordert, so, dass rund 8000 Polwechsel in der Minute bisher als am zweckentsprechendsten angesehen werden.

Sollen Transformatoren nur sehr geringe Spannungsdifferenzen abgeben, so müssen dieselben mit möglichst geringem Kupferverluste, dafür aber mit umso größerem Eisenverluste arbeiten.

---

[1]) Elektrotechnische Zeitschrift, Berlin, 1892, Seiten 43 und 55.

[2]) F. Uppenborn, Kalender für Elektrotechniker, 1894, Seite 191.

6. Bau der Transformatoren. Jeder Transformator kann als eine Dynamomaschine angesehen werden, in welcher Anker und Magnete feststehen. Die primäre Wickelung des Transformators stellt die Wickelung der Feldmagnete, die sekundäre dagegen die Wickelung des Ankers einer Dynamomaschine vor. Die Induktionsströme werden im Transformator nicht durch Bewegung, sondern dadurch erzeugt, dass der Strom in den primären Windungen seine Richtung wechselt.

Für den Bau der Transformatoren gelten viele Regeln, welche beim Baue der Dynamomaschinen, beziehungsweise Elektromotoren, Anwendung finden. Der Eisenkern der Transformatoren wird so aufgebaut, wie jener der Dynamomaschinen. Die Eisenbleche sind nach J. A. Ewing[1] 0·25 bis 0·35 *mm* stark zu wählen. So wie bei den Dynamomaschinen verwendet man bei den Transformatoren als Isolator zwischen den Blechscheiben zumeist Seidenpapier. Für die Isolation der Transformatoren überhaupt und die Beanspruchung der Wickelungen gelten ähnliche Regeln wie bei den Dynamomaschinen.

7. Berechnung der Transformatoren. Für die Berechnung des Eisenkörpers ist die zulässige Induktion maßgebend. Die Anzahl der Kraftlinien für 1 cm^2 beträgt bei den meisten Transformatoren 4000 bis 8000 *C G S* Einheiten oder weiters etwa 100 Watt für 1 cm^2.

Da ein Theil des Gesammteisenquerschnittes des Transformators durch die Isolation (Seidenpapier u. s. w.) verloren geht, rechnet man in der Regel, sowie bei den Dynamomaschinen, mit 0·9 des Gesammtquerschnittes als dem wirksamen Querschnitte.

Als Beanspruchung der primären und sekundären Wickelung (Stromdichte) wählt man für Kupferdrähte 1·6 Ampère für 1 cm^2.

Das Verhältnis der Spannungen ist nach § 3, Seite 5 durch das Verhältnis der Anzahl der primären und sekundären Windungen bestimmt.

Beispiel: Ein Transformator soll im Verhältnisse 20 : 1 umsetzen. Wie groß ist die Anzahl der sekundären Windungen, wenn die Anzahl der primären 800 beträgt?

Die Anzahl der sekundären Windungen muss dann $800 : 20 = 40$ Windungen sein.

8. Kondensatoren als Transformatoren. Theoretisch sind auch Kondensatoren zur Umsetzung der Elektricität verwendbar. Die bisher angestellten Versuche haben jedoch in der Praxis keine Bedeutung erlangt.

---

[1]) J. A. Ewing, Magneticinduction in iron and other metals, 1892.

9. Beschreibung von Transformatoren.

1. Die Transformatoren von Zipernowsky, Déri und Bláthy, Fig. 2 bis 5. Diese Transformatoren zerfallen in:

a) Kerntransformatoren, Fig. 2 und 3. Der Eisenkern dieser Transformatoren bildet eine in sich geschlossene Figur, einen Ring, ein Oval u. dgl. und ist, sowie die Kerne der Dynamomaschinen, zur Vermeidung von Wirbelströmen, untertheilt.

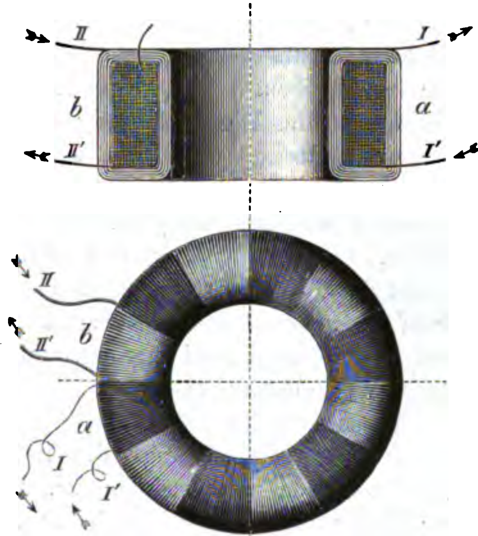


Fig. 2.

Die Umwickelung des isolirten Eisenkernes mit isolirtem Kupferdrahte geschieht ebenfalls in derselben Weise, wie bei den Eisenkernen der Dynamomaschinen, beziehungsweise der Elektromotoren; der Strom wird jedoch dem Ringe nicht wie bei den Dynamomaschinen an zwei gegenüberliegenden Stellen zugeführt, sondern die geschlossenen Wickelungen erscheinen zu diesem Zwecke an irgend einer Stelle des Ringes unterbrochen. Die erste (primäre) Wickelung *I I'* ist in den Stromkreis einer Wechselstrommaschine, die zweite (sekundäre) *II II'* in den Nutzstromkreis eingeschaltet. Der Strom durchfließt demnach den ganzen Eisenkern in derselben Richtung und bildet, im Gegensatze zu dem Strome, der den Eisenkern der Dynamo-



Fig. 3.

maschine umfließt, keine freien Pole. Ebenso wie bei der Dynamomaschine ist der Eisenkern bei den Transformatoren in der Richtung der Kraftlinien ohne Unterbrechung und in der auf dieser Richtung senkrechten Richtung untertheilt.

Der Aufbau des Eisenkernes erfolgt entweder dadurch, dass Eisendrähte zu einem Ringe zusammengerollt oder dass der Eisenkern aus schmalen, flachen, hochkantig oder flach aufgewickelten Eisenbändern aufgebaut wird. Die hochkantig aufgewickelten Eisenbänder sind ineinander gesteckt, die flach aufgewickelten dagegen übereinander gelegt und so zu einem Ringe ausgebildet. Der Eisenkern kann auch aus einem einzigen entsprechend breitem Bande hergestellt werden, welches, zur Vermeidung von Wirbelströmen, Längsschnitte erhält. Besteht das Blech aus mehreren Theilen, dann hat man insbesondere darauf zu achten, dass die Fugen gegeneinander versetzt angeordnet werden, so dass der Eisenquerschnitt in der Richtung der Kraftlinien möglichst geschlossen erscheint.

Messungen der Erfinder haben ergeben, dass solche geringe Störungen im Zusammenhange der Eisenmassen das Güteverhältnis der Transformatoren nicht beeinflussen. Die Isolation der Drähte, Bänder oder Bleche besteht aus Umspinnung, Lack, Papier, Gewebe u. s. w.

Die Wickelung der Kerntransformatoren zerfällt entweder in zwei übereinander liegende Wickelungen (primäre und sekundäre Wickelung) oder in regelmäßig wechselnde Abtheilungen von primären *a* und sekundären Windungen *b*, wobei die ganze Oberfläche des Ringes entweder vollständig oder nahezu vollständig von der Wickelung eingehüllt ist.

Die Wickelung in Abtheilungen veranschaulicht Fig. 2.

Fig. 3 gibt ein perspektivisches Bild eines Kerntransformators wieder, bei welchem auf den Eisenkern zunächst die primären und darauf die sekundären Windungen aufgewickelt sind.

Die Wickelungen der Transformatoren sind sowohl untereinander, als auch vom Eisenkerne sorgfältigst isolirt, so dass ein Schluss zwischen den Wickelungen oder zwischen diesen und dem Eisenkerne ausgeschlossen erscheint.

Der Eisenkern sammt Wickelung wird zwischen starken, gut gefirnissten Holzklammern gefasst und zwischen zwei ringförmigen Eisenscheiben zusammengepresst, jedoch so, dass die Wickelungen von dem Metalle des Gestelles allseitig abstehen. Der Transformator steht auf drei Füßen, welche an die untere der beiden Eisenscheiben angegossen sind. Die obere Eisenscheibe dient als Träger zweier primärer und dreier sekundärer Klemmen sammt Sicherheitsschaltungen. Die mittlere der sekundären Klemmen hat den Zweck, die sekundäre Spannung von

z. B. 100 Volt in zwei Zweige zu je 50 Volt zu theilen. Durch diese Anordnung erreicht man bei Bogenlampen eine vollkommene Unabhängigkeit der einzelnen Lampen von einander. Während bei Gleichstrom von 100 Volt, in welchen zwei Bogenlampen hintereinander geschaltet sind, immer beide in Thätigkeit sein müssen, wenn nicht anstatt einer derselben ein, ebenso viel Kraft wie die Bogenlampe selbst verbrauchender, Widerstand eingeschaltet werden soll. Eine Gleichstrom-Anlage von 100 Volt erfordert weiteres eine gerade Lampenzahl also zumindest zwei Lampen; auch diesen Uebelstand behebt der Transformator mit drei sekundären Klemmen.

Die primären Sicherungen sind in weiten, mit Holzgriffen versehenen Glasröhrchen untergebracht, so zwar, dass ein Auswechseln derselben selbst während des Betriebes stattfinden kann. Die sekundären Sicherungen bestehen aus Bleiplatten.

Sämmtliche Klemmen sind auf Porzellan montirt, die primären außerdem mit ihren Porzellanplatten auf ein Holzbrett aufgeschraubt.

Behufs leichter Handhabung sind die Durchmesser der beiden Eisenscheiben so groß gewählt, dass der Transformator auf dem Boden gerollt werden kann und ein oder zwei Tragringe mit der oberen Eisenscheibe verschraubt.

Tabelle ausgeführter Transformatoren.

Leistung in Watt	Gewicht in *kg*	Energieverlust in beiden Wickelungen bei voller Leistung	Magnetisirungsarbeit in %	Kommerzieller Nutzeffekt bei voller Leistung in %
1875	70	2%	5·5	92·5
3750	110		3·5	94·5
7500	180		2·5	95·5
15000	290		1·5	96·8

Uebersetzungsverhältnis: 900, 1800, 2700 und 3600 Volt primär, 105 Volt sekundär. Das Güteverhältnis gibt die Tabelle für die volle Leistung an; dasselbe ändert sich jedoch innerhalb weiter Grenzen der Belastung sehr wenig und beträgt bei $^1/_4$ Belastung beim kleinsten Modelle (1875 Watt) rund 80%, beim größten (15.000 Watt) rund 91·3%. Die sekundären Spannungen bei voller Belastung und bei ausgeschaltetem sekundärem Stromkreise sind einander nahezu gleich.

Die Transformatoren werden immer so untergebracht, dass sie für Unbefugte unzugänglich sind. Bei oberirdischer Leitungszuführung sind dieselben in Kästen auf Säulen oder an den Außenwänden der Häuser auf Konsolen oder in Häusern auf dem Dachboden in verschlossenen Verschlägen aufgestellt. Bei unterirdischer Leitung befinden sich die Transformatoren in Erdkästen oder in den Kellern der zu beleuchtenden Häuser. Gegen das Eindringen von Wasser sind die letzteren dadurch geschützt, dass dasselbe durch einen Kanal Ableitung findet.

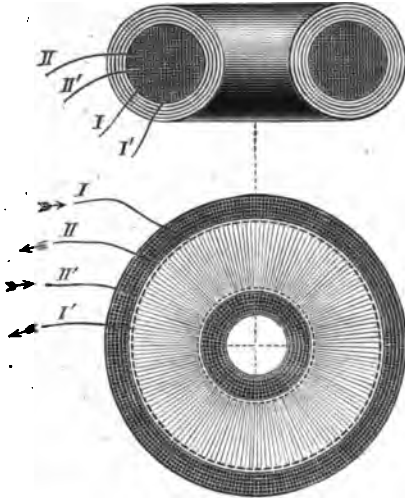


Fig. 4.

b) Manteltransformatoren, Fig. 4 und 5. Die Manteltransformatoren gehen aus der Umkehrung der Anordnung zwischen Wickelungen und Eisenkernen der Kerntransformatoren hervor. Während bei den letzteren die Eisenkerne von den Umwickelungen eingehüllt erscheinen, umgeben bei den Manteltransformatoren umgekehrt die Eisenkerne die Wickelungen. Wesentlich sind beide Konstruktionen einander gleich. Die inducirenden und inducirten Drähte werden der ganzen Länge nach von dem, durch Isolation getheilten, Eisen umhüllt, so zwar, dass durch die Isolation der Weg

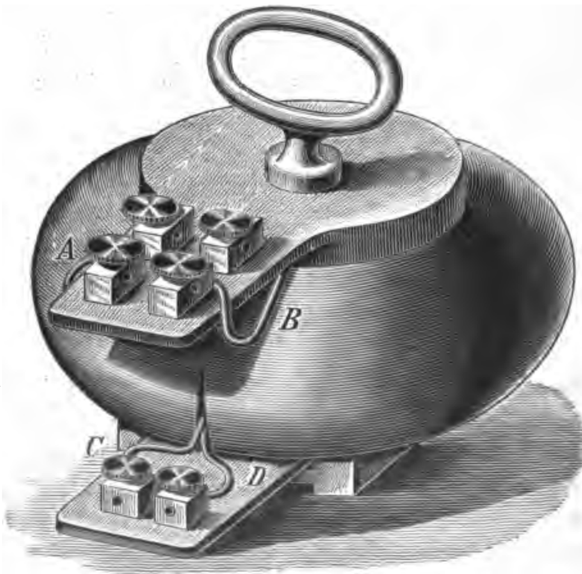


Fig. 5.

der Kraftlinien rein metallisch verbleibt, dagegen der Weg der Wirbelströme unterbrochen ist.

Fig. 4 gibt ein Bild der Anordnung zwischen Eisen und Wickelung eines Manteltransformators wieder. Der innere Kern besteht aus einem Ringe isolirter Kupferdrähte, aus welchen die primären Windungen *I I' I I'* und die sekundären Windungen *II II' II II'* hervorragen. Senkrecht zu den Ebenen der Kupferdrähte sind isolirte Eisendrähte oder Bleche angeordnet.

Fig. 5 stellt ein perspektivisches Bild eines Manteltransformators dar.

In ihrer deutschen Patentschrift haben die genannten Erfinder ein vollständig ausgebildetes Transformatorensystem mit einer Reihe von Einzelkonstruktionen angegeben. Diesem Systeme verdankt die moderne Wechselstromtechnik ein wirtschaftliches System der elektrischen Beleuchtung und Kraftübertragung auf große Entfernungen.

Folgend sind die wichtigsten Angaben über den Kerntransformator mit der Leistung von 7500 Watt zusammengestellt:

130	cm^2	, Eisenquerschnitt,
95	*kg*	, Gewicht des Eisens,
1080		, Primäre Windungszahl,
60		, Sekundäre Windungszahl,
1·8	*mm*	, Drahtstärke der primären Wickelung,
2·6	*mm*	, Drahtstärke der sekundären Wickelung,
4·2	Ohm	, Widerstand der primären Spule,
0·0135	Ohm	, Widerstand der sekundären Spule,
40	*kg*	, Gesammtkupfergewicht,
175	*kg*	, Gesammtgewicht,
0·17	Ampère,	Stromstärke bei geöffnetem äußeren Stromkreise,
200	Watt	, Wattverbrauch bei geöffnetem sekundären Stromkreise,
4.28	Ampère,	Normale Stromstärke bei voller Leistung,
1926	Volt	, Normale Spannung bei voller Leistung,
75	Ampère,	Normale, sekundäre Stromstärke,
105	Volt	, Normale, sekundäre Spannung.

Die Angaben bei voller Leistung wurden nach dreistündigem Betriebe gefunden. Die Temperatur der Kupferwickelung stieg um 80° C.

2. Der Drehstromtransformator der Allgemeinen Elektricitätsgesellschaft in Berlin. In Fig. 6 ist ein Transformator abgebildet, welcher anlässlich der elektrischen Ausstellung in Frankfurt a/M. (1891) bei der Uebertragung von 300 *PS* von Lauffen a/N. nach dem Ausstellungsplatze in Frankfurt a/M. auf eine



Fig. 6.

Entfernung von 175·5 *km* (I. Seite 280) Verwendung fand. Dieser Transformator war für eine Leistung von 100000 Watt bei einem Uebersetzungsverhältnisse 1 : 160 gebaut.

Sein Eisenkörper bestand aus drei Eisenkernen. Die drei Eisenkerne waren aus dünnen Eisenblechen aufgebaut und oben, sowie unten durch, aus Eisenbändern hergestellte Ringe, verbunden. Die inneren Bewickelungen der Kerne bildeten die dicken, die äußeren die dünnen Windungen. Jeden Kern durchfloss ein Strom bestimmter Phase. Die Phasen der drei primären Ströme in den drei primären Wickelungen waren um 120° gegen einander verschoben. Zur Fernhaltung der Feuchtigkeit wurden sämmtliche Isolirmittel in schwerem Harzöl

gekocht und nach Füllung des Transformators mit Oel nochmals erwärmt. Behufs Aufnahme des Oeles stand der Transformator in einem schmiedeeisernen Cylinder.

3. Der Drehstromtransformator von Siemens & Halske. Der Eisenkörper dieses in Fig. 7 perspektivisch dargestellten Transformators besteht aus drei senkrecht aufgestellten Eisenkernen, welche durch zwei Gussplaten, die ein kräftiger Bolzen zusammenpresst,

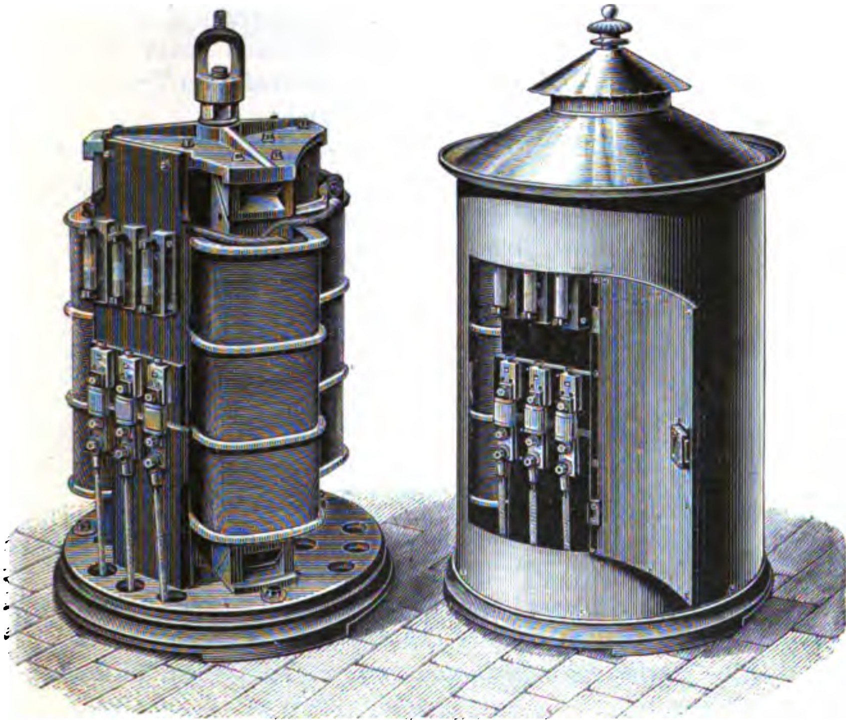


Fig. 7.

zusammengehalten werden. Auf den isolirten Eisenkernen sind zunächst die sekundären und auf diese die primären Spulen aufgesetzt. Um den Transformator gegen Witterungseinflüsse zu schützen, ist derselbe in ein Blechgehäuse eingeschlossen, dessen kegelförmiges Dach eine, durch ein Regendach abgeschlossene, Ventilationsöffnung besitzt. Die untere Gussplatte enthält eine Anzahl von Oeffnungen, durch welche die Leitungen führen; sie dienen gleichzeitig zur Durchlüftung des Apparates. Zwischen den beiden Gussplatten ist ein Brett verschraubt, auf welchem die Leitungsklemmen und Bleisicherungen

aufmontirt sind. Eine Thür macht dieses Brett leicht zugänglich. Das Blechgehäuse steht auf der Grundplatte des Transformators und kann nach Lösung einiger Schrauben abgehoben werden. Transformatoren dieses Modelles wurden von Siemens & Halske zunächst für das Elektricitätswerk zu Erding[1]) praktisch verwendet.

4. Der Oeltransformator der Thomson-Houston Electric Company. Der Eisenkern ist aus von einander isolirten Blechen zusammengesetzt. Der ganze Apparat befindet sich in einem eisernen Gehäuse luftdicht verschlossen. Eisenkern und Gehäuse sind von einander wohl isolirt. Der innen freibleibende Raum ist mit Oel ausgefüllt. Schalter und Sicherungen sind außerhalb des Transformators in einem eigenen eisernen Kasten untergebracht.

Der Eisenkern ist an die Erde (Gas-, Wasserleitung oder Erdplatte) gelegt, so dass eine in den Transformator eintretende Blitzentladung zur Erde abgeleitet wird. Die schadhaft gewordene Stelle isolirt sich durch die Oelfüllung des Transformators selbsthätig.

II. Kapitel.

Gleichstrom-Umsetzer.

10. Eintheilung. Die Umsetzung von Gleichstrom erfolgt durch folgende Anordnungen:

1. Zwei Dynamomaschinen, welche mit einander mechanisch verbunden sind.
2. Zwei Dynamomaschinen, deren Magnetgestelle ein Ganzes bilden und deren Induktoren auf derselben Welle sitzen.
3. Eine Dynamomaschine mit zwei verschiedenen Wickelungen auf dem Anker.
4. Eine Dynamomaschine in Verbindung mit einem Sammler.
5. Wechselstromumsetzer mit Nebenvorrichtungen.

Eine praktische Bedeutung haben bisher nur die Anordnungen 2, 3 und 4 erlangt.

11. Zwei Dynamomaschinen mit verschiedenen Wellen. Die Umsetzung eines Gleichstromes in einen zweiten lässt sich mit irgend zwei getrennten Gleichstrommaschinen durchführen. Die erste Maschine wird als Motor mit dem zu umsetzenden Strome angetrieben; verbindet man diese Maschine mit einer zweiten z. B. durch Riemenübertragung,

[1]) Elektrotechnische Zeitschrift, Berlin, 1893, Seiten 558 ff.

so lauft die zweite Maschine an und gibt, wenn dieselbe für höhere Spannung und niedere Stromstärke als die erste Maschine gewickelt ist, einen Strom von höherer Spannung und niederer Stromstärke als die erste ab. Ist die zweite Maschine für niederere Spannung und höhere Stromstärke als die erste Maschine gewickelt, dann gibt dieselbe einen Strom von niedriger Spannung und höherer Stromstärke als die erste ab.

12. Zwei Dynamo mit derselben Welle (Motordynamo). Diese Anordnung unterscheidet sich von der im letzten Paragraphe angegebenen nur dadurch, dass die Induktoren beider Maschinen auf

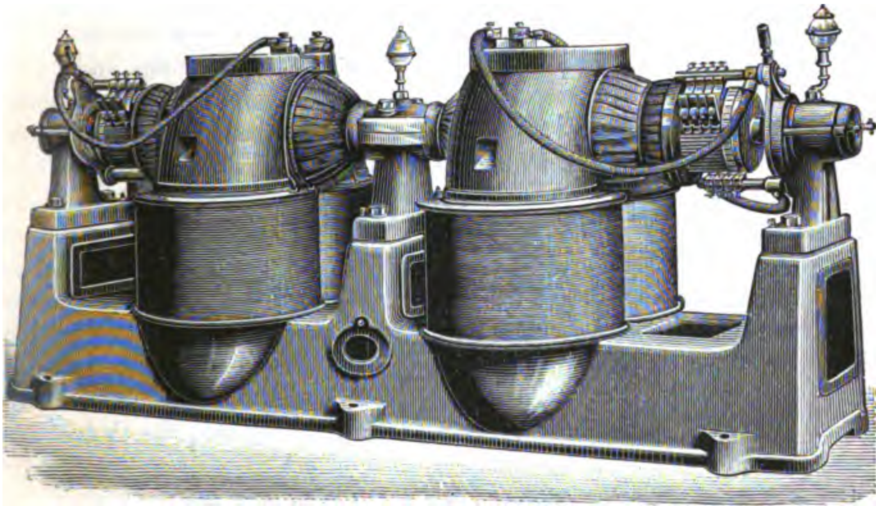


Fig. 8.

derselben Welle aufgebaut sind und die Eisenkörper der beiden Maschinen zumeist ein Ganzes bilden.

Konstruktionen dieser Art sind von Marcel Deprez, Schuckert & Co. und Siemens & Halske praktisch ausgeführt worden.

13. Beschreibung praktischer Konstruktionen. Der Gleichstromumsetzer von Siemens & Halske, Fig. 8. Die Magnetgestelle zweier Maschinen der Type *L H* bestehen aus einem gemeinsamen Gusskörper. Auf der Welle des Umsetzers sind, den beiden Magnetgestellen zugehörig, 2 Trommeln aufgebaut. Der zu umsetzende Strom tritt in die eine Trommel ein und setzt so beide Trommeln in Bewegung. Beide Trommeln laufen demnach mit derselben Umdrehungszahl. Die zweite Trommel gibt nun, wenn sie anders gewickelt ist wie die

erste, einen Strom von anderer Spannung und Stromstärke als der in die erste Trommel eintretende Strom. Das Verhältnis der Windungszahlen der beiden Anker gibt zugleich das Verhältnis der primären und sekundären Spannungen an. Hat der zweite Anker mehr Windungen, als der erste, so wird der in die erste Maschine (den Motor) eintretende Strom in der zweiten Maschine (der Dynamo) in einen solchen von hoher Spannung umgesetzt; hat der zweite Anker weniger Windungen, als der erste, dann ist die Spannung des aus der zweiten Maschine austretenden Stromes niedriger, als die des in die erste Maschine eintretenden Stromes.

14. Zwei Dynamo mit zwei verschiedenen Wickelungen auf demselben Anker. Das Wesen dieser Umsetzer wurde zuerst von Thomas Alva Edison aufgestellt. Der Eisenkern des Induktors bildet den Träger für zwei verschiedene, von einander wohl isolirte Wickelungen. An jeder Stirnfläche der Wickelung sitzt je ein Kollektor auf der Welle. Der umzusetzende Strom tritt in die eine Wickelung ein, der umgesetzte Strom aus der anderen Wickelung aus. Das Verhältnis der primären und sekundären Windungen bestimmt, sowie bei jedem Umsetzer, das Verhältnis der primären und sekundären Spannung. Die Wickelungen füllen entweder abwechselnd Nuten im Anker aus oder sie sind übereinander gewickelt. Durch letztere Anordnungen hebt die Selbstinduktion des einen Stromkreises diejenige des andern auf, wodurch die Stromabnahme an den Kollektoren bei jeder beliebigen Belastung ohne die geringste Funkenbildung und das Verstellen der Bürsten vor sich geht.

15. Beschreibung praktischer Ausführungen.

Der Gleichstromumsetzer von W. Lahmeyer & Co. in Frankfurt a/M. W. Lahmeyer[1]) hat zuerst Umsetzer mit zwei verschiedenen Wickelungen auf demselben Anker in die Praxis eingeführt.

Der wesentliche Nachtheil dieser Umsetzer bestand früher darin, dass bei gleichbleibender primärer Spannung die sekundäre Spannung mit wechselnder Belastung veränderliche Werte annahm. Der obige Konstrukteur hat diesen Uebelstand durch eine eigene Regulirung (Compoundirung) beseitigt. Diese Regulirung lässt sich durch eine direkte Wickelung oder eine anderweitige Veränderung des Magnetismus nicht erreichen. Sowie jeder Motor mit Nebeneinanderschaltung verlangt die motorische Ankerwickelung des Umsetzers bei zunehmender Belastung eine geringe Abnahme des Magnetismus, um auf gleicher Umlaufszahl erhalten zu werden, die stromgebende Wickelung des Um-

[1]) Deutsches Reichspatent Nr. 52201.

setzers dagegen, sowie jene der Gleispannungsdynamo, eine entsprechende Zunahme des Magnetismus um den größeren Spannungsverlust in der Ankerwickelung auszugleichen. Primäre und sekundäre Ankerwickelung verlangen demnach für die Regulirung zu gleicher Zeit eine entgegengesetzte Veränderung des Magnetismus. Eine Regulirung des Umsetzers durch Veränderung des Magnetismus erscheint demnach ausgeschlossen. Die Unabhängigkeit der Regulirung vom Magnetismus folgt weiters auch aus dem Umstande, dass das Verhältnis der in beiden Wickelungen wirkenden elektromotorischen Kräfte nur

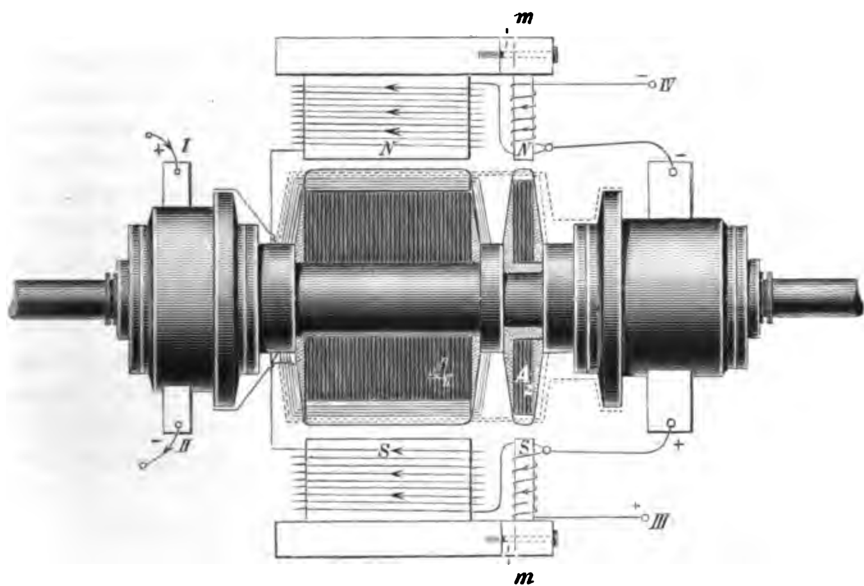


Fig. 9.

von dem Verhältnisse der Windungszahlen abhängig, d. h. unveränderlich ist. An den Stromabgeber mit den Bürsten *I*, *II*, Fig. 9, schließt sich die Hochspannungsankerwickelung an. Diese ist nur auf den Anker A_1 aufgewickelt. Die sekundäre Wickelung hingegen umgibt nicht blos den Anker A_1, sondern auch den Anker A_2, bevor der Anschluss an den zweiten Stromageber erfolgt. Auf den Anker A_2 wirkt ein Schenkelgestell mit sekundärer Hauptstromwickelung inducirend ein. Das magnetische Feld für die Compoundirung ist demnach von dem Hauptfelde des Umsetzers abgesondert. *mm*, Fig 9, bedeuten Zwischenlagen von Messing, welche die beiden Magnetgestelle von einander trennen. A_2 und das zugehörige Gestell, geben einen Theil der erforderlichen Spannung, den größten Theil aber gibt der Haupt-

anker A_1 mit dem Hauptgestell. Sowie die Spannungsbeiträge des Haupt- und Nebenankers, verhalten sich ihre Abmessungen. Die Längsabmessungen von A_1 und A_2 verhalten sich etwa wie die normale sekundäre Spannung zu dem erforderlichen Spannungsausgleiche.

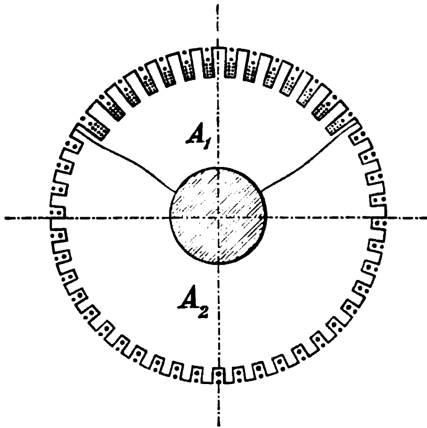


Fig. 10.

Für Spannungen bis 600 Volt und kleinere Modelle baut Lahmeyer den Umsetzer mit Trommelanker; dann sind, wie es Fig. 10 zeigt, die beiden Ankerwickelungen mit einer isolirenden Zwischenlage übereinander gewickelt. Die Umsetzer größerer Modelle erhalten Grammeringe. Die Wickelungen sind dann nebeneinander, jede in einer besonderen Nut untergebracht. Die durch Fibre von den Nuten isolirte Wickelung erscheint einzeln zugänglich und auswechselbar.

Wenn bei einer Umsetzerdynamo Hoch- und Niederspannungswickelung über- oder nebeneinander angeordnet sind, ist ein Uebertreten der hohen Spannung auf die Niederspannungswickelung selbst bei sorgfältigster Isolirung schwer zu vermeiden. Lahmeyer hat die so für die Sicherheit des Betriebes und der Bedienung entstehende Gefahr dadurch beseitigt, dass er zwischen die beiden Ankerwickelungen nicht nur eine gute Isolation, sondern außerdem noch eine Kupferschicht legt. Diese Kupferschicht bildet gleichsam einen Blitzableiter zwischen beiden Wickelungen, welcher absolut sicher wirkt. Durch letztere Anordnung ist es nicht nur ausgeschlossen, dass um das Kupfer herum eine Hochspannungsentladung auf die Niederspannungswickelung übertritt, sondern auch, dass eine zu starke Erwärmung die Kupferschicht zerstört, da der Querschnitt derselben bedeutend größer ist, als der Kupferquerschnitt der dünnen Hochspannungsdrähte. Die Bleisicherungen und selbst die Hochspannungsleitung schmelzen früher ab, als die schützende Kupferschicht. Sobald aber die Hochspannungsleitung abschmilzt, wird der Umsetzer stromlos. Es ist außerdem durch eine eigene Schaltungsvorrichtung Vorsorge dafür getroffen, dass bei irgend einer Isolationsverletzung sämmtliche Ausschalter unterbrochen werden.

Dynamo und Umsetzer gleicher Leistung haben auch gleiche Größe und gleichen Wirkungsgrad.

Der Umsetzer arbeitet bei gleicher Erregung mit höherer magnetischer Sättigung als die Dynamo, weil sich die Rückwirkungen der Ankerwickelungen gegenseitig aufheben. Damit sind zugleich die Ursachen, die eine Funkenbildung und Verschiebung der Bürsten bei veränderlichen Belastungen hervorbringen, ausgeschlossen. Die motorische Wickelung bedingt eine Bürstenverschiebung in der entgegengesetzten Richtung der Umdrehung, die sekundäre Wickelung dagegen eine Verschiebung in der Richtung der Umdrehung. Beide Wirkungen heben demnach einander auf.

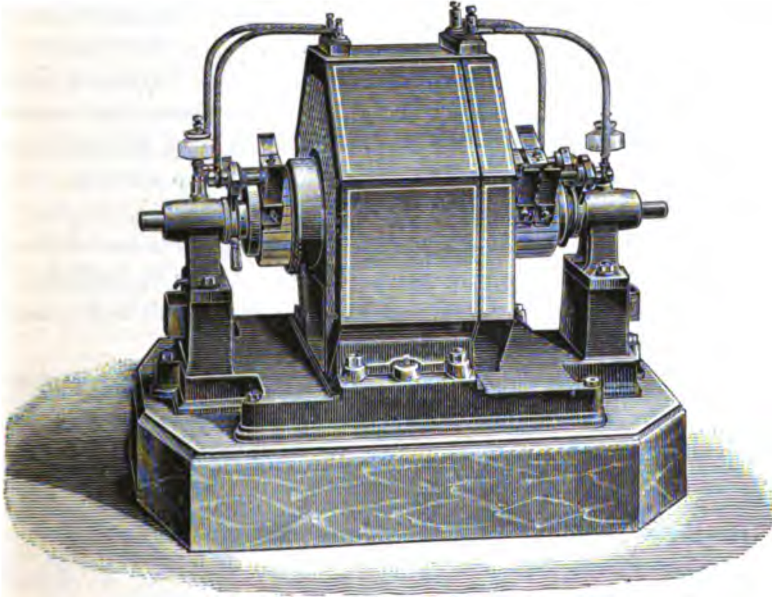


Fig. 11.

Arbeiten Umsetzer und Sammler zusammen, dann erhält das Regulirgestell größere Abmessungen und außer der direkten noch eine Nebenschlusswickelung. Bei der Ladung wird durch das Einschalten beider Wickelungen die Bedarfspannung erzeugt. In Nebeneinanderschaltung wirkt nur die erstere. Das Umpolarisiren des Umsetzers ist ausgeschlossen, da die direkte Wickelung auf den Magnetismus des Hauptgestelles keinen Einfluss hat.

Dieser Umsetzer gleicht auch den Spannungsverlust in einer zugehörigen Fernleitung aus und bildet so einen selbstthätigen Regulator des Lahmeyer'schen Fernleitungssystemes.

Fig. 11 zeigt ein perspektivisches Bild dieses Umsetzers. Das Modell ist dasselbe, wie jenes der Lahmeyer'schen Maschine und

seiner Umsetzermotoren. Die letzteren haben im wesentlichen dieselbe Einrichtung wie der Umsetzer, finden jedoch zur gleichzeitigen Abgabe von Licht und Kraft Verwendung (Kraftlichtdynamo). Umsetzer und Umsetzermotor sind demnach Doppelspannungsmaschinen. Die Magneterregung der Doppelspannungsmaschinen erfolgt mittels des Niederspannungsstromes, so dass eine vollkommene Isolation sicher und billig erreicht ist. Wenn nun, wie es auf der elektrischen Ausstellung in Frankfurt a/M. (1891) der Fall war, beim Anlaufen der Maschine kein Niederspannungsstrom aus einem Sammler oder einem Centralnetz zur Verfügung steht, dann ist beim Einschalten derselben eine Hochspannungsmagneterregung erforderlich. Als solche findet eine unter der Nebenschlusswickelung liegende, sogenannte Erregerwickelung von geringer Windungszahl Verwendung, welche ebenso wie die außerhalb der Maschine angeordneten Anlasswiderstände in Hintereinanderschaltung mit der Hochspannungsankerwickelung geschaltet ist, und wie diese, wenn man ihrer nicht mehr bedarf, stufenweise abgeschaltet werden kann. Sobald dann die Erregerwickelung stromlos wird, d. h. sobald der Hochspannungsstrom nur mehr den Anker durchfließt, wird dieselbe durch einen vorher gesperrten Umschalter noch in den Niederspannungsnebenschlussstrom eingeschaltet.

Die nebenstehende Tabelle der Angaben über die Dynamo *D III*, den Umsetzer *U VI* und den Umsetzermotor *Z II* von W. Lahmeyer & Co. in Frankfurt a/M. verdanke ich einer freundlichen Mittheilung dieser Firma.

16. Eine Dynamo in Verbindung mit einem Sammler. Die Durchführung dieses Systems besteht darin, dass der Strom einer hochgespannten Gleichstromdynamo durch eine Fernleitung in einen Sammler mit einer großen Zellenzahl geschickt wird.

Die zur Ladung einer Zelle erforderliche Spannung beträgt rund 2·8 Volt. Sind demnach 500 Zellen hintereinander geschaltet, so ergeben sich für die Spannung der Dynamo, außer dem Spannungsverluste in der Leitung,

$$2{\cdot}8 \times 500 = 1400 \text{ Volt Ladespannung.}$$

Von beliebigen Zellen des Sammlers aus kann man nun mit beliebigen Spannungen arbeiten.

Bei dieser Methode ist es ermöglicht, die Dynamo immer mit voller Leistung (größtem Güteverhältnisse) zu beanspruchen, wenn auch die Nutzbelastungen verschieden sind. Der Sammler regelt in diesem Falle den Stromverbrauch, indem er bei geringeren Belastungen der Dynamo den Strom aufspeichert.

Tabelle.

Angaben	Dynamo D. III.	Umsetzer U. VI.			Umsetzer-Motor Z. II.		
		Hoch-spannung	Nieder-spannung	Hoch- u. Nieder-spannung	Hoch-spannung	Nieder-spannung	Hoch- u. Nieder-spannung
Gewicht der Maschine in *kg*	8000	—	—	3500	—	—	4500
Maximale Leistung in *kw*	80	—	44	—	—	7·5	—
„ „ in HP	—	—	—	—	70	—	—
Komerzieller Nutzeffekt in %	92	—	—	86	—	—	88
Klemmenspannung in Volt	660	660	110	—	660	110	—
Höhe der Maschine mit Grundplatte in *mm*	1393	—	—	1113	—	—	1223
Höhe und Breite des Magnetgestelles in *mm*	1278	—	—	1046	—	—	1108
Tiefe des Magnetgestelles im *mm*	640	—	—	500	—	—	530
Joch-Querschnitt in m^2	736	—	—	325	—	—	—
Schenkel-Querschnitt in *cm*	1210	—	—	346	—	—	—
Schenkel-Material. Eisen	Guss-	—	—	Schmiede-	—	—	Guss-
Polschuh-Fläche in cm^2	—	—	—	1108	—	—	—
Bohrung in *mm*	608	—	—	522	—	—	503
Anker-Durchmesser in *mm*	600	—	—	500	—	—	500
Anker-Breite in *mm*	440	—	—	375	—	—	350
Anzahl der Lager	3	—	—	2	—	—	2
Wellen-Durchmesser in *mm*	120	—	—	75	—	—	85
Wellen-Durchmesser (äußeres Lager) *mm*	100	—	—	—	—	—	—
Tourenzahl	350	—	—	650	—	—	530
Anzahl der Ankernuten	111	—	—	69	—	—	105
Anzahl der Kollektortheile	111	69	47	—	—	105	53
Kollektor-Material. Bronze	—	—	—	—	—	—	—
Kollektor-Durchmesser in *mm*	500	200	280	—	400	250	—
Kollektor Länge in *mm*	200	100	200	—	150	100	—
Bürstenanzahl (nebeneinander)	4	2	4	—	3	2	—
Abstand der zwei Bürstengrup. 90°	—	—	—	—	—	—	—
Ankerdraht-Gewicht (mit Isolation) in *kg*	101	95	43	—	52	7	—
Ankerdraht-Querschnitt im mm^2	15·9	19·6	47·7	—	8·6	7	—
Ankerdraht-Widerstand in Ohm	0·185	0·101	0·0068	—	0·053	0·25	—
Schenkeldraht-Gewicht (mit Isolation) in *kg*	576	11	238	—	29	320	—
Schenkeldraht-Querschnitt in mm^2	10·2	7	5·3	—	12·6	7	—
Schenkeldraht-Widerstand in Ohm	9·36	0·4	15·6	—	0·4	11·8	—
Windungen für 1 Schenkel	840	51	1150	—	52	864	—
Schleifring Nr. 1 verbunden mit Lamelle	—	—	1	—	—	—	—
Schleifring Nr. 2 verbunden mit Lamelle	—	—	7	—	—	—	—
Schleifring Nr. 3 verbunden mit Lamelle	—	—	13	—	—	—	—
Bürsten-Material: Kupfergaze.							

17. Wechselstromumsetzer mit Nebenvorrichtungen. Soll ein Wechselstromumsetzer zur Umsetzung eines Gleichstromes Verwendung finden, so muss der letztere entweder durch eine Nebenvor-

richtung in Wechselstrom umgewandelt oder abwechselnd geschlossen und unterbrochen oder abwechselnd gestärkt oder geschwächt werden (I. Seite 34 ff.). Da der letztere Fall bisher noch nicht in Betracht gezogen wurde, erübrigen folgende bekannte Konstruktionen:

1. Umsetzung des Gleichstromes durch Umwandlung desselben in einen Wechselstrom.

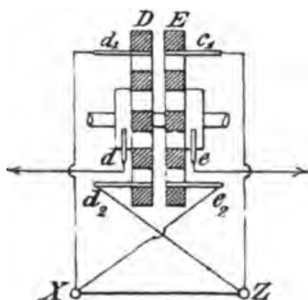


Fig. 12.

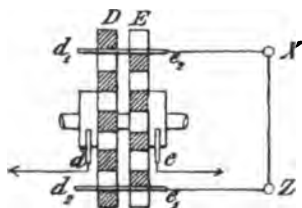


Fig. 13.

Johann Karl Pürthner verwendet zu diesem Zwecke einen Wechselstromumsetzer und einen Stromwender. Der letztere besteht aus zwei von einander isolirten Scheiben D und E, Fig. 12, mit abwechselnd leitenden und nichtleitenden Feldern am Umfange. Auf den Scheiben schleifen im Abstande der ($2\ n \pm 1$) fachen Feldbreite je zwei Federn (Bürsten) c_1 und c_2, sowie d_1 und d_2. Die Federn sind so eingestellt, dass sie während der Umdrehung des Stromwenders gleichzeitig entweder auf leitenden oder auf nichtleitenden Feldern stehen. Die Scheiben D und E sind durch die Federn d und e mit den Polen der Gleichstromleitung verbunden. Soll nun in der Leitung $X\ Z$ Wechselstrom erhalten werden, so bringt man das eine, gleichzeitig über leitende Felder gleitende Federpaar z. B. $d_1\ c_1$ mit $X\ Z$, durch nicht gekreuzte Leitungen, das andere Paar $d_2\ c_2$ hingegen durch gekreuzte Leitungen in Verbindung.

Bezüglich der Anordnungen der Federn des Stromwenders sind Abänderungen möglich. So kann man z. B. nur das eine Federpaar $d_1\ c_1$ mit den Enden der Gleichstromleitung durch nicht gekreuzte Leitungen verbinden und anstatt der gekreuzten Verbindung des anderen Federpaares $d_2\ c_2$ mit der Wechselstromleitung $X\ Z$, diese Federn durch sich kreuzende Leitungen untereinander verbinden. Dadurch ist eine feste Verbindung je zweier über entgegengesetzte Felder schleifender Federn vorhanden und wesentlich statt zweier Federn nur eine anzuwenden, welche gleichzeitig über entgegengesetzte Felder beider Scheiben gleitet. Einen solchen Stromwender von Pürthner zeigt Fig. 13. Die ununterbrochen umlaufenden Scheiben D und E werden durch die Federn d und e mit den Polen der Dynamo verbunden. In der Leitung $X\ Z$ erscheint der Gleichstrom in Wechselstrom umgewandelt.

Ein Stromwender kann auch dazu dienen, Wechselstrom in Gleichstrom umzuwandeln. Diese Nothwendigkeit tritt dann ein, wenn der umgesetzte Strom zu elektrolytischen Zwecken angewendet oder in einem Sammler aufgespeichert werden soll. In diesem Falle müssen bei umgekehrter Schaltung die Aenderungen der Bürstenauflagen auf dem Stromwender immer gleichzeitig mit dem Richtungswechsel des Stromes erfolgen. Die letztere Bedingung kann z. B. dadurch erreicht werden, dass man den Stromwender durch einen Wechselstrommotor, welcher stets mit gleicher Umdrehungszahl (synchron) lauft, in Umdrehung versetzt.

2. Umsetzung des Gleichstromes durch abwechselndes Unterbrechen und Schließen desselben.

Bei der Erzeugung inducirter Ströme durch abwechselndes Unterbrechen und Schließen des gleichgerichteten Primärstromes vergeht bekanntlich eine zwar sehr kurze, jedoch immerhin messbare Zeit, bis nach dem Schließen oder Unterbrechen der Primärstromleitung der Eisenkern des Transformators den Magnetismus vollständig angenommen, beziehungsweise abgegeben hat; die Schnelligkeit der Aufeinanderfolge der einzelnen Schließungen und Unterbrechungen erscheint daher begrenzt. Während der Zeit von einer Unterbrechung bis zur darauf folgenden Schließung tritt die Stromquelle außer Thätigkeit; sie wird aus diesem Grunde nur etwa während der halben Zeit ausgenützt. Eine beständige Verwertung des Primärstromes, sowie eine eigentliche Unterbrechung der von der Maschine ausgehenden Leitung, kann nach Pürthner durch die Anwendung von zwei Primärleitungen ermöglicht werden, welche der Strom abwechselnd durchfließt; dann wird das Oeffnen und Schließen der beiden Primärleitungen, in welchen sich die primären Spulen der Transformatoren befinden, wie oben durch eine rotirende Scheibe bewirkt und durch den Oeffnungsextrastrom entstehende Funkenbildung mit Hilfe einer zweiten Scheibe vermieden.

III. Kapitel.

Wechselstrom-Gleichstromumsetzer.

18. Wesen. Verbindet man eine Gleichstrom- mit einer Wechselstrommaschine durch irgend eine mechanische Uebersetzung, so kann man mit Hilfe dieser Anordnung

1. Wechselstrom in Gleichstrom und
2. Gleichstrom in Wechselstrom umsetzen.

Die mechanische Verbindung beider Maschinen kann, sowie bei Gleichstromumsetzern, welche aus zwei Maschinen bestehen, entweder durch eine einfache Riemenverbindung beider Maschinen oder durch das Aufbauen des Gleichstrom- und Wechselstrominduktors auf dieselbe Welle erfolgen.

Schickt man in die Wechselstrommaschine einen Wechselstrom, so lauft dieselbe an und die mit ihr verbundene Gleichstrommaschine gibt Gleichstrom ab und umgekehrt.

Sowie einphasige kann man mehrphasige Wechselströme in Gleichströme und umgekehrt umsetzen.

Auch die im letzten § angegebenen Stromwender sind als Wechselstrom-Gleichstromumsetzer und umgekehrt verwendbar.

19. Praktische Ausführungen.

Der Wechselstrom-Gleichstromumsetzer von Siemens & Halske. Der von dieser Firma in Frankfurt a/M. ausgestellte Umsetzer bestand aus einer Wechselstrommaschine und aus einer Innenpolmaschine der bekannten, eigenen Konstruktionen. Der Umsetzer hatte in Frankfurt a/M. den Zweck, Wechselströme von 2000 Volt in Gleichströme von 150 Volt, zum Zwecke der Ladung eines Sammlers, umzusetzen.

20. Universalmaschine. Eine vielpolige Dynamo kann, mit zwei Gleichstromkollektoren und mindestens 6 Schleifringen versehen, für sämmtliche Zwecke der elektrotechnischen Industrie Anwendung finden. Diese Universalmaschine ersetzt insbesondere folgende Maschinen, Motoren und Umsetzer einzeln oder in beliebigen Verbindungen:

1. Gleichstrommaschine.
2. Gleichstrommotor.
3. Wechselstrommaschine.
4. Wechselstrommotor.
5. Gleichstromumsetzer.
6. Ein- und mehrphasiger Wechselstromumsetzer.

Für alle Anordnungen, in welchen auch Wechselstrom vertreten ist, sind vielpolige oder sehr schnell laufende Maschinen anzuwenden, für alle jene Anordnungen dagegen, in welchen blos Gleichstrom vertreten ist, genügen bei niedrigen und mittleren Leistungen zweipolige Maschinen.

21. Bemerkung. Die Nachtheile der Gleichstromumsetzer im Vergleiche zu den entsprechenden Apparaten für Wechselstrom sind folgende:

1. Hohe Anschaffungskosten.
2. Die Beweglichkeit der Theile.
3. Die Anwendung beschränkt hoher Spannungen.

In Folge der bisher niedrigen Spannungen der Gleichstromumsetzer sind dieselben für die Uebertragung der Elektricität auf sehr große Entfernungen nicht geeignet, während Wechselstromumsetzer die Elektricität bisher auf Entfernungen bis zu 175 *km* (Lauffen—Frankfurt a/M.) wirtschaftlich übertragen haben.

Bei der Fortleitung der Elektricität auf geringe Entfernungen, zu Kraftübertragungs-, elektrochemischen und Messzwecken dagegen wird fast allgemein nur Gleichstrom angewendet.

Die vereinigten Vorzüge der Gleich- und Wechselströme und ihre Anwendung für alle Zwecke des praktischen Lebens sind demnach wohl geeignet, der Elektrotechnik schon in der nächsten Zukunft auch in Europa jene hervorragende Stellung einzuräumen, die sie in den Vereinigten Staaten Nord-Amerikas heute schon besitzt.

II. Abschnitt.

Sammler.

I. Kapitel.

Grundlehren.

22. Wesen. Die Sammler der gegenwärtigen elektrotechnischen Industrie bestehen zumeist aus Bleielektroden (Bleiplatten), welche in verdünnter Schwefelsäure stehen.

Eine Reihe mit einander verbundener positiver oder negativer Elektroden bilden einen Elektrodensatz. Eine in einem Gefäße mit wechselnden Polen angebrachte, hintereinander geschaltete Reihe von Elektroden nennt man eine Zelle (Sekundäres Element); eine Reihe von Zellen heißt Sammler (Ladungssäule, Akkumulator, Sekundärbatterie).

Die metallischen Elektroden dienen zur Leitung, die aktive Masse zur Ansammlung des Stromes.

Schickt man in den Sammler Strom, so wird die elektrische Arbeit desselben in chemische umgesetzt. Der Strom leitet in dem Sammler einen chemischen Vorgang ein, dessen Energie längere Zeit aufgespeichert werden kann. Schließt man die Elektroden durch einen Stromkreis, so tritt ein entgegengesetzter chemischer Vorgang (chemische Rückbildung) mit einer gleichzeitigen entgegengesetzten Elektricitätsströmung ein.

Zwei Bleielektroden, welche in verdünnter Schwefelsäure stehen, stellen wesentlich den ersten Blei-Sammler von Gaston Planté (1859) dar. Wird dieser Sammler in eine Elektricitätsquelle eingeschaltet, so bildet sich an der Oberfläche der positiven (braunen) Elektrode Bleisuperoxyd, während sich an der negativen (grauen) Elektrode Wasserstoff entwickelt. Nachdem der Sammler längere Zeit vom Strom durchflossen war, erhält er die Eigenschaft, nach Stromunterbrechung einen Entladestrom, der dem Ladestrome entgegengesetzt gerichtet ist, abzugeben.

Der Sammler wird durch die elektrische Ladung ein primäres Element. Das Bleisuperoxyd stellt die positive, das metallische Blei die negative Elektrode und die Schwefelsäure die Flüssigkeit dar.

Da die Elektroden durch den Entladestrom Pole annehmen, nennt man sie polarisirt und den Entladestrom einen Polarisationsstrom.

Beim Entladen verwandelt sich an der positiven Elektrode das Bleisuperoxyd in Bleioxyd und dieses vereinigt sich, sowie das Blei der negativen Elektrode, mit der Schwefelsäure zu schwefelsaurem Blei. Wird nun der Sammler wieder geladen, so bildet sich auf der positiven Elektrode abermals Bleisuperoxyd, während das schwefelsaure Blei der negativen Elektrode abermals in Blei übergeht. Das auf der positiven Elektrode gebildete Bleisuperoxyd und das auf der negativen Elektrode angesammelte Blei bilden die sogenannte aktive Masse des Sammlers. Je mehr aktive Masse vorhanden ist, desto größer wird die Aufspeicherungsfähigkeit (Aufnahmefähigkeit, Ansammlungfsähigkeit, Kapacität) des Sammlers.

Die aktive Masse bildet sich durch häufiges Laden und Entladen (Formiren).

Der Sammler von Planté bedingt eine lang andauernde Formirung, da die Bleisuperoxydbildung bei rein metallischen Bleielektroden sehr langsam vor sich geht. Diesen Uebelstand beseitigte Camillo Faure (1881) dadurch, dass er das Bleisuperoxyd, das sich bei Planté erst nach der Ladung bildet, schon beim Aufbau der Zellen auf die negative Elektrode in Form der billigen Mennige (einer Verbindung von Bleioxyd und Bleisuperoxyd) aufstrich.

Das poröse schwammige Blei der negativen Elektrode wird vorwiegend durch das Auftragen von Bleiglätte (Bleioxyd), seltener durch Mennige erzeugt.

Der Tudor'sche Sammler (1884) vereinigt die bei den Sammlern nach Planté und Faure angewendeten Verfahren. Die positiven Elektroden werden zunächst Monate lang ohne Füllmasse geladen und entladen (Planté), dann mit einer Füllmasse versehen kurze Zeit geladen (Faure).

23. Konstruktion. Die Elektroden werden zumeist aus reinem Blei in Messing- oder Eisenformen gegossen. Die Form der Platten ist vorwiegend rechteckig oder quadratisch. Die Oberfläche der Platten enthält Oeffnungen, Vertiefungen, Rinnen u. dgl., welche zur Aufnahme der Füllmasse geeignet erscheinen. Nachdem in diese Platten die mit Schwefelsäure angefeuchtete Füllmasse eingetragen worden ist, erfolgt die Formirung derselben. Die formirten Platten werden sodann in der Regel in senkrechter Stellung in ein prismatisches Gefäß aus Glas, Steingut, Hartgummi, präparirtem Papier, getränktem oder mit Blei ausgekleidetem Holze in verdünnte Schwefelsäure gestellt. Die Pole der nebeneinander stehenden Platten wechseln ihre Zeichen. Die Endplatten einer Zelle sind gewöhnlich negativ, so dass die Zelle in der Regel

eine negative Platte mehr enthält als positive Platten. Sämmtliche negative und positive Elektroden sind miteinander durch einen Leiter zu einem gemeinsamen positiven und einem gemeinsamen negativen Pole verbunden. Die einzelnen positiven und negativen Elektroden sind von einander durch Kautschuk, Hartgummi, Ebonit, Glas, Holz u. s. w. isolirt. Von besonderer Wichtigkeit ist es, dass die aus den Platten herausfallende Füllmasse keinen Schluss zwischen den positiven und negativen Platten bildet. Man erreicht diesen Zweck vornemlich durch eine geeignete Konstruktion der Platten, durch Aufstellung derselben auf die scharfen Kanten prismatischer Isolatoren oder durch ihre Aufhängung. Das Aufstellen beider Elektroden auf den Boden des Gefäßes ist unzulässig, da bei dieser Anordnung Schlüsse durch die herabfallende Füllmasse unvermeidlich sind. Für die Ausdehnung der aktiven Masse muss Raum vorhanden sein. Das Verziehen und Werfen der Elektroden weist auf eine unrichtige Konstruktion derselben hin. Die Verbindung der einzelnen Elektroden, Elektrodensätze und Zellen untereinander geschieht am zweckmäßigsten durch Löthung mit reinem Blei bei Benützung eines Wasserstoffgebläses. Sobald die Elektrodensätze in dem Gefäße aufgebaut sind, wird dasselbe mit verdünnter Schwefelsäure von 19 Grad Baumé bei 20° C. (1·147 Dichte, 20·3% reine Schwefelsäure) soweit ausgefüllt, dass die Elektroden vollständig in die Säure eingetaucht erscheinen. Das Nachfüllen der Zellen geschieht mit einer Säure von höchstens 4 Grad Baumé. Die Schwefelsäure muss rein sein. Besonders schädlich sind Beimengungen von Arsen, Salpeter- oder Salzsäure. Das Wasser muss kalkfrei sein. Brunnenwasser ist vorher abzukochen. Am besten eignen sich destillirtes und Regenwasser. Man gießt die Säure zum Wasser und nicht umgekehrt das Wasser zur Säure, weil sonst ein heftiges Aufspritzen der Mischung erfolgt. Beim Mischen des Wassers mit Schwefelsäure wird Wärme erzeugt.

24. Ladung und Entladung. Bei der Ladung muss der positive Pol der Maschine mit dem positiven Pole des Sammlers verbunden sein. Die Ladung ist solange fortzusetzen bis von allen Platten Gasblasen aufsteigen; man sagt dann: „Die Zellen Kochen". Die positiven Platten sehen dann dunkelbraun, die negativen hellgrau aus.

Zum Laden der Sammler eignen sich Nebenschlussmaschinen am besten; Reihen- und gemischt-geschaltete Maschinen werden nie, für mit Sammlerbetrieb vorgesehene, Anlagen in Vorschlag gebracht.

Als erforderliche Klemmenspannung an der Maschine rechnet man für jede zu ladende Zelle etwa 2·6 Volt; die Spannung des Sammlers kann durch Zellenschalter, welche Zellen zu und abschalten oder durch

Widerstände regulirt werden. Die durch Widerstände getilgte Spannung berechnet man auch hier nach dem Ohm'schen Gesetze

$$V = A \, . \, O$$ (I. Seite 50).

Beispiel: Wie viel Spannung tilgt ein Widerstand von 0·5 Ohm in einem Sammlerstromkreise, welchen 100 Ampère durchfließen?

$$V = A \, . \, O,$$
$$V = 100 \, . \, 0{\cdot}5 = 50.$$

Durch den Widerstand von 0·5 Ohm gehen in dem Stromkreise von 100 Ampère 50 Volt verloren.

Beispiel: Wie groß stellt sich in dem letzten Beispiele die Anzahl der durch den Widerstand verlorenen Pferdekräfte?

Die Anzahl der Verlust-Voltampère = 50 Volt . 100 Ampère = 5000 Voltampère.

Da 736 Voltampère = 1 metrische Pferdekraft = 1 *P. S.* (I. Seite 52), betragen die Verlustpferdekräfte:

$$5000 : 736 = 6{\cdot}79 \; P. \; S.$$

Im Folgenden soll die Verwendbarkeit der verschieden geschalteten Dynamo zum Laden der Sammler besprochen werden:

1. Reihenmaschine. Die Reihenmaschine muss zunächst auf einen Widerstand geschaltet werden. Hat die Maschine die erforderliche Spannung erreicht, so schaltet man vorerst den Widerstand und den Sammler nebeneinander und hierauf den Widerstand aus. Ueberwiegt die Spannung des Sammlers jene der Dynamo, dann wird letztere von einem Rückstrom umflossen; man sagt: „Der Strom schlägt um". Die Stärke des Rückstromes berechnet man bei gegebenem Widerstande des Stromkreises nach dem Ohm'schen Gesetze, indem man in demselben anstatt der Spannung die Differenz der Klemmenspannungen von Sammler und Maschine einführt.

Beispiel: Wie stark ist der Rückstrom in Ampère in einem Sammlerstromkreise von 2 Ohm Widerstand, wenn die Klemmenspannung des Sammlers 160 Volt und jene der Maschine 150 Volt betragen?

Die Spannungsdifferenz hat den Wert:

160 Volt — 150 Volt = 10 Volt.

Aus dem Ohm'schen Gesetze

$$A = \frac{V}{O}$$ (I. Seite 48) folgt demnach

$$A = \frac{10}{2} = 5 \text{ Ampère}.$$

Da der Rückstrom die Magnetschenkel in entgegengesetzter Richtung durchfließt, werden dieselben umpolarisirt. Soll diese Maschine

weiter zum Laden des Sammlers benutzt werden, so muss man dieselbe mittelst einer eigenen Stromquelle rückpolarisiren oder die Anschlüsse des Sammlers an die Maschine wechseln. Auch der Anker wird von dem Rückstrome in entgegengesetzter Richtung umflossen, so zwar, dass Maschine und Sammler nicht mehr gegeneinander, sondern hintereinander geschaltet erscheinen. Infolge der so entstehenden hohen elektromotorischen Kräfte wächst die Stromstärke plötzlich an, so dass sofort das Abschmelzen der Sicherungen oder das Heißwerden der Maschinenwickelungen eintritt. Nur wenn die Sicherungen nicht vorhanden oder unrichtig bemessen sind, können die Maschinen oder der Sammler einzeln oder zusammen Schaden leiden.

2. Nebenschlussmaschine. Die Nebenschlussmaschine wird, falls dieselbe zum Laden eines Sammlers benützt werden soll, auf die erforderliche Spannung gebracht und erst dann an den Sammler angeschlossen. Eine vorhergehende Schaltung der Dynamo auf Widerstände erscheint überflüssig. Nimmt weiters die Spannung der Dynamo z. B. durch langsammeres Laufen derselben, durch Kurzschlüsse im Anker u. s. w. plötzlich so stark ab, dass sie geringer wird, als die Spannung an dem Sammler, so umfließt dieselbe, ebenso wie die Reihenmaschine, ein Rückstrom. Der letztere Strom polarisirt jedoch die Nebenschlussmaschine nicht um, weil, wie man schon aus einem einfachsten Schaltungsschema (I. Seite 169, Fig. 209 a) ersehen kann, Maschinen- und Rückstrom die Magnete in derselben Richtung durchfließen. Bei der Nebenschlussmaschine ändert sich durch den Rückstrom blos die Stromrichtung im Anker. Das Laden erfolgt dann, wenn die Maschinenspannung die Sammlerspannung wieder überwiegt, was man in der Regel durch das raschere Laufen der Maschine oder das Ausschalten von Regulirwiderständen im Hauptstromkreise erreicht. Bei neu einzurichtenden Anlagen werden zum Laden der Sammler immer Nebenschlussmaschinen verwendet.

3. Gemischt geschaltete Maschine. Da diese Maschine sowohl eine Reihen-, als auch eine Nebenschlusswickelung auf den Magneten besitzt, gelten für dieselbe die bei der Reihen- und Nebenschlussmaschine angegebenen Regeln gleichzeitig. Das Umpolarisiren der gemischt geschaltenen Maschine wird nur dann eintreten können, wenn die dicken (Reihen-) Ampèrewindungen die dünnen (Nebenschluss-) Ampèrewindungen überwiegen, d. h. wenn das Produkt aus Ampère mal Windungen der dicken Wickelung kleiner ist, als das Produkt aus Ampère mal Windungen der dünnen Wickelung. Häufig verwendet man gemischt geschaltete Maschinen nur als Nebenschlussmaschinen, indem man die dicken Windungen abschaltet; dann sinkt jedoch die Spannung der

Maschine. Man kann sich in diesem Falle gewöhnlich durch Erhöhung der Umdrehungszahl der Maschine helfen. Das Umpolarisiren der gemischt geschaltenen Maschine kann auch dadurch vermieden werden, dass man den Sammler nicht an die Klemmen der Maschine, sondern direkt an die Bürsten anschließt.

Die im Folgenden angegebenen Klemmenspannungen stellen Mittelwerte dar. Genaue Angaben über die Klemmenspannung, Lade- und Entladestromstärke u. s. w. können sich nur auf eine bestimmte Konstruktion beziehen und werden von den betreffenden Firmen angegeben.

Für je eine Zelle ist zu Anfang der Ladung eine Klemmenspannung von 2, später 2·5 und schließlich 2·7 Volt erforderlich. Die Klemmenspannung eines Sammlers wächst mit der Säuredichte desselben.

Die Klemmenspannung der Nebenschlussmaschine muss dem Produkte aus der Anzahl der Zellen in die mittlere Spannung der einzelnen Zelle (hier 2·5 Volt) gleich sein. Die Maschine darf erst dann in den Sammler eingeschaltet werden, wenn ihre Klemmenspannung größer ist, als die Spannung des einzuschaltenden Sammlers. Von einer Spannung der Zellen von 2·4 Volt angefangen, erscheint es vortheilhaft, mit niederer als der normalen Ladestromstärke zu laden. Während des Entladens gibt die Zelle in den ersten Minuten zunächst 2·3, sinkt rasch auf 1·9 und ganz langsam auf 1·8 Volt. Die Grenze der Entladung ist erreicht, wenn die Spannung rasch unter 1·8 Volt zu fallen beginnt.

25. Dichte der Säure. Während des Ladens und Entladens verursacht der chemische Vorgang im Sammler eine verschiedene Dichte der Säure. Der Ladestrom zerlegt das schwefelsaure Blei. Es bildet sich dabei Schwefelsäure, während Wasser verbraucht wird, so dass die Dichte der Säure ansteigt. Beim Entladen tritt der umgekehrte chemische Vorgang ein und die Dichte der Säure fällt. Ein in die Flüssigkeit eingesenktes Aräometer gibt die Dichte der Säure an. Hat z. B. die Dichte der Säure beim Laden den Wert 1·147, so beträgt dieselbe nach Beendigung der Ladung 1·18. Steigt die Dichte der Säure an, so fällt die verbrauchte Strommenge ab. Die Dichte der Säure nimmt von den unteren nach den oberen Schichten derselben ab. Den Messungen legt man in der Regel eine mittlere Säuerdichte zu Grunde d. i. die Dichte der Säure in halber Höhe der Platten. Saugt man aus dieser mittleren Schichte Säure heraus, so kann man dieselbe mit Hilfe einer aräometrischen Wage (Moor, Westphal) messen.

26. Stromstärke, Stromdichte. Die Stromstärke hängt von der Größe der wirksamen Oberfläche der Elektroden ab. Die Stromstärke der Einheit der Plattenoberfläche nennt man Stromdichte. Die größte bisher angewendete Entladestromstärke beträgt 500 Ampère.

C. Heim nimmt für 1 dm^2 Elektrodenoberfläche 0·4 bis 0·6 Ampère Ladestrom und 0·3 bis 0·7 Ampère Entladestrom an.

Zu hoher Entladestrom bringt für die Elektroden Gefahr und vermindert das Güteverhältnis des Sammlers.

27. Kapacität. (Ansammlungs-, Aufnahme-Fähigkeit, Aufspeicherungsvermögen). Unter der Kapacität eines Sammlers versteht man die Anzahl der Ampèrestunden, die man aus demselben, bis zu einem Spannungsabfalle von 10% entnehmen kann.

Gibt ein Sammler 100 Ampère 4 Stunden lang, so ist seine Kapacität 400 Ampèrestunden.

Multiplizirt man die Entladestromstärke mit der Spannung an den Klemmen des Sammlers und mit der Zeit, so erhält man die elektrische Arbeit in Wattstunden.

Als Spannung des Sammlers hat man einen mittleren Wert derselben einzuführen. Beträgt die Spannung zu Anfang der Entladung 1·9, zu Ende der Entladung 1·8 Volt, so ist die mittlere Spannung

$$= \frac{1·9 + 1·8}{2} = 1·85 \text{ Volt.}$$

Bei genauen Bestimmungen sind, da sich die Spannung nicht gleichmäßig ändert, mehrere Werte der Wattstunden in gewissen Zeitabschnitten zu ermitteln. Addirt man diese Werte und dividirt die Summe durch die Anzahl der Werte, so erhält man einen genauen Mittelwert.

Beispiel: Wie groß ist die elektrische Arbeit eines Sammlers in Wattstunden, wenn die Entladestromstärke andauernd 20 Ampère, die Zeit der Entladung 5 Stunden und die mittlere Spannung während der Entladung 1·85 Volt betragen?

Lösung: $20 \times 5 \times 1·85 = 185$ Wattstunden.

A. von Waltenhofen bestimmt die normale Kapacität durch Entladung des Sammlers bei einer Stromstärke von 1 Ampère für 1 *kg* Plattengewicht bis zu einem Spannungsabfalle von 10, C. Heim von 7%. Die Kapacität der meisten Sammler beträgt 4 bis 8 Ampèrestunden für 1 *kg* Plattengewicht.

28. Güteverhältnis. Das Güteverhältnis eines Sammlers wird entweder auf die Elektricitätsmengen in Ampèrestunden oder auf die

elektrische Arbeit in Wattstunden bezogen. Unter dem Güteverhältnisse in Bezug auf Ampèrestunden versteht man das Verhältnis der Ampèrestunden während der Ladung zu den Ampèrestunden während der Entladung.

Beispiel: Wie groß ist das Güteverhältnis eines Sammlers, bezogen auf Ampèrestunden, wenn derselbe mit 440 Ampèrestunden geladen, 400 Ampèrestunden Entladestrom gibt?

Lösung: $\frac{400}{440} = 0{\cdot}90$, d. h. 90 %.

Unter dem Güteverhältnisse in Bezug auf Wattstunden versteht man das Verhältnis der Wattstunden während der Ladung zu den Wattstunden während der Entladung.

Beispiel: Ein Sammler wurde mit 600 Wattstunden geladen, mit 510 Wattstunden entladen; es ist das Güteverhältnis bezüglich der elektrischen Arbeit zu berechnen.

Lösung: $\frac{510}{600} = 0{\cdot}85$, d. h. 85 %.

Als Güteverhältnisse gelten
für das Güteverhältnis bezüglich der Ampèrestunden [1]) 94 bis 97·3 %,
„ „ „ bezüglich der Wattstunden [1]) 83 bis 87·5 %.

29. Prüfung und Untersuchung der Zellen. Die Prüfung und Untersuchung der Zellen ist in den folgenden Punkten übersichtlich zusammengestellt:

1. Gegen Ende der Entladung muss die Gasbildung aller Zellen gleich stark sein. Die Gasbildung ermöglicht die einfachste Prüfung und Untersuchung der Zellen. Jeder Fehler einer Zelle gibt sich durch das Ausbleiben der Gasentwickelung zu erkennen.

2. Nach Beendigung der Ladung sind die Säuredichte und die Spannung sämmtlicher Zellen zu messen. Gewöhnlich gießt man reines Wasser, im Falle zu geringer Säuredichte sämmtlicher Zellen jedoch, verdünnte Säure nach. Nur auf Kosten des Güteverhältnisses kann man bei einzelnen Zellen die normale Säuredichte durch eine starke Ueberladung erzielen.

3. Die Säure muss in allen Zellen die Oberkante der Elektroden um etwa 1 *cm* überragen.

4. Die Elektroden dürfen nicht kurz geschlossen sein. Der Kurzschluss erfolgt in der Regel durch die aus den Elektroden heraus-

---

[1]) Nach den Messungen an Correns-Akkumulatoren (Juli 1891), ausgeführt von C. Heim, W. Kohlrausch, Wilhelm Peukert, Voller, Otto Berner, Gustav Conz, G. Gemershausen, Richard Seifert und Classen.

fallende Füllmasse. Zeigt eine Zelle Kurzschluss, so kann man denselben dadurch beseitigen, dass man mittels eines Holzstäbchens die Füllmasse zwischen den Elektroden entfernt oder dadurch, dass man die Zelle aus der Reihe ausschaltet und die so entstehende Unterbrechungsstelle durch einen entsprechend starken Draht schließt. Bei Kurzschluss zeigen die Zellen sehr niedrige Spannungen an. Zur bequemen Untersuchung der Spannung dienen Glühlampen oder Voltmesser mit 4 Volt Spannung, welche man an je zwei Zellen und, im Falle sich ein Fehler durch zu niedrige Spannung zeigt, an die einzelnen Zellen anlegt. Eine 4 Voltlampe leuchtet an einer einzelnen Zelle dunkel, an einer kurzgeschlossenen gar nicht.

5. Die positiven Elektroden müssen dunkelbraun, die negativen hellgrau sein. Bildet sich auf der positiven Elektrode ein Niederschlag von schwefelsaurem Blei, dann erscheinen dieselben grau bis weiß gefärbt.

Die Ursachen eines solchen Niederschlages sind:

a) Zu lange Dauer der Entladung.
b) Zu starker Entladestrom.
c) Kurzschlussbildung.
d) Isolationsfehler.
e) Lange Unthätigkeit des Sammlers.

Die unter e) angegebene Ursache beseitigt ein öfteres Laden und und Entladen der Zellen.

6. Der Sammler muss von der Erde sorgfältigst isolirt sein.

30. Vorsichtsmaßregeln. Schwefelsäure färbt die Kleidungsstücke rothbraun und verkohlt die gefärbten Stellen. Man schützt sich deshalb durch das Tragen von Kleidern, welche gegen verdünnte Schwefelsäure am widerstandsfähigsten sind (Wollenkleider).

Schürzen und Schuhe sollen mit einer Mischung aus Paraffin und Wachs bestrichen werden. Entstehen in den Kleidern durch die Säure Flecken, so bestreicht man dieselben sofort mit Salmiakgeist (wässerigem Ammoniak).

Die Hände werden durch die Säure rauh; man spült dieselben deshalb von Zeit zu Zeit mit Soda ab.

Da sämmtliche Bleiverbindungen giftig sind, hat man die größte Vorsicht zu gebrauchen, damit dieselben nicht in wunde oder offene Stellen der Haut eindringen.

31. Schaltungen.[1]) Beim Laden werden die Sammlerzellen hintereinander, seltener nebeneinander geschaltet. Bei der letzteren

---

[1]) In den folgenden Paragraphen 31 bis 37 wurde das Schaltungsbuch der Akkumulatorenfabrik-Aktien-Gesellschaft (System Tudor) benützt.

Schaltung theilt man die Zellen in der Regel in zwei Hälften. Jeder Hälfte der Zellen wird dann ein Widerstand vorgeschaltet. Diese Widerstände haben den Zweck zu verhindern, dass die eine Hälfte der Zellen Strom in die andere sendet. Die Nebeneinanderschaltung von

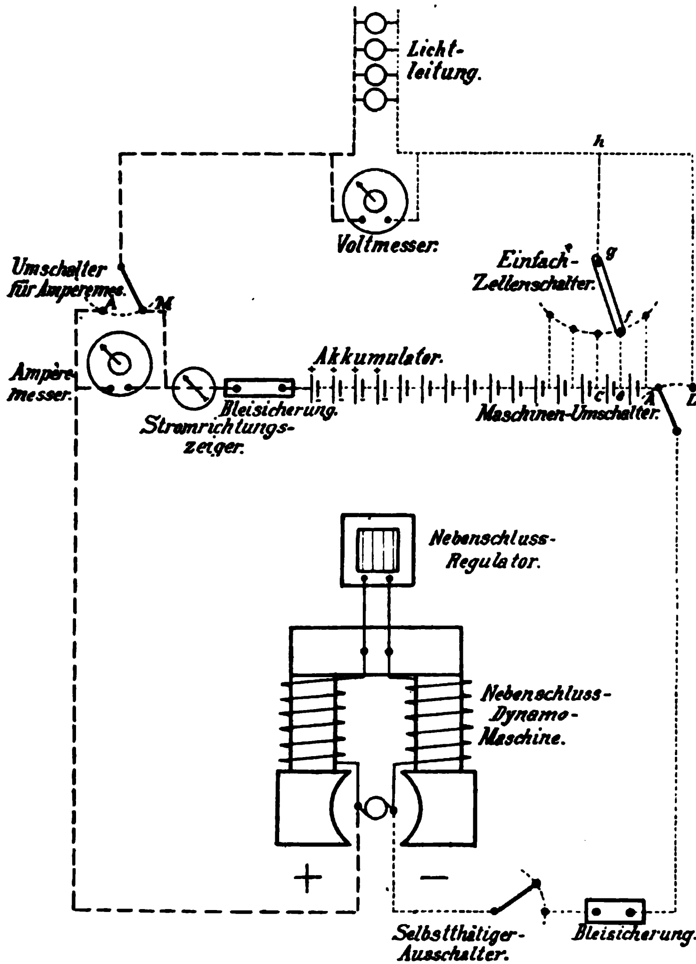


Fig. 14.

Zellen wird zumeist nur in solchen schon bestehenden Anlagen verwendet, in welchen Sammler zur Aufstellung kommen.

Bei hintereinander geschalteten Zellen, Fig. 14, verbindet man den positiven Pol der Maschine mit dem positiven Pole der ersten Zelle, schaltet sämmtliche Zellen nach dem Schema + — + — u. s. w.

hintereinander und verbindet den negativen Pol der letzten Zelle mit dem negativen Pol der Dynamomaschine. Die Richtigkeit der Schaltung ist wohl zu beachten.

Die Pole der Zellen erkennt man zunächst nach ihrer Farbe (§ 29 unter 5). Weitere Mittel zur Bestimmung der Pole wurden früher (I. Seite 197) angegeben. Ueber die Anwendung des Lackmus- und Curcumapapieres zur Polbestimmung habe ich an besonderer Stelle [1] berichtet. Gegen das Lackmus-, Curcuma- und Polreagenzpapier verhalten sich der + elektrische Pol wie eine Säure, der negative wie eine Base. (Der + Pol färbt Lackmuspapier roth, der — Pol blau. Der — Pol färbt Curcumapapier rothbraun). Bei den Deprez'schen industriellen Galvanometern (I. Seite 91) sind die Klemmen mit dem Zeichen + und — versehen. Wird das Instrument verkehrt eingeschaltet, so gibt der Zeiger, vom Nullpunkte aus gesehen, einen Ausschlag nach der entgegengesetzten Richtung der Theilung und leistet somit auch zur Polbestimmung gute Dienste.

Beim Entladen tritt der Strom bei der positiven Klemme, sowie bei jeder Stromquelle, aus der Zelle.

Bei den Schaltungsschemen Fig. 14 und Fig. 15 sind Maschine, Sammler und Nutzleitung nebeneinander geschaltet, so zwar, dass Maschine und Sammler gemeinsam und einzeln in die Nutzleitung eingeschaltet werden können.

Zur Regulirung des Lade- und Entladestromes dienen sogenannte Zellenschalter. Die Spannung der Zelle steigt während der Ladung z. B. von 2·09 Volt allmählich bis auf 2·70 Volt. Sollen nun während dieser Zeit Lampen brennen, wie dies z. B. bei Schaltung Fig. 14 der Fall ist, so wird es erforderlich, dass man an die Lichtleitung nur soviel Zellen anschließt, als nothwendig erscheinen, um die für das regelrechte Brennen der Lampen erforderliche Spannung in der Lichtleitung zu erzeugen. Um diese Spannung hervorzubringen, sind, da die Spannung während der Ladung steigt, nach und nach, je weiter die Ladung vorschreitet, immer weniger Zellen erforderlich; das hierdurch bedingte Abschalten der Zellen erfolgt mittels des Zellenschalters.

Bei der Entladung fällt z. B. die Spannung der Zelle von 1·90 Volt bis 1·83 Volt. Dadurch wird es nothwendig, mittels des Zellenschalters nach und nach Zellen hinzuzuschalten, um bei fortschreitender Entladung die Spannung in der Lichtleitung auf der erforderlichen Höhe zu erhalten. Es sind mithin die ersten am Zellenschalter liegenden

---

[1]) Heinrich Kratzert, Zeitchrift für Elektrotechnik, Wien, 1894, Seiten 270 und 127.

Zellen, von Klemme A des Maschinen-Umschalters beginnend, diejenigen Zellen, welche erst später zur Stromlieferung beitragen, und sie werden daher weniger entladen als die andern Zellen.

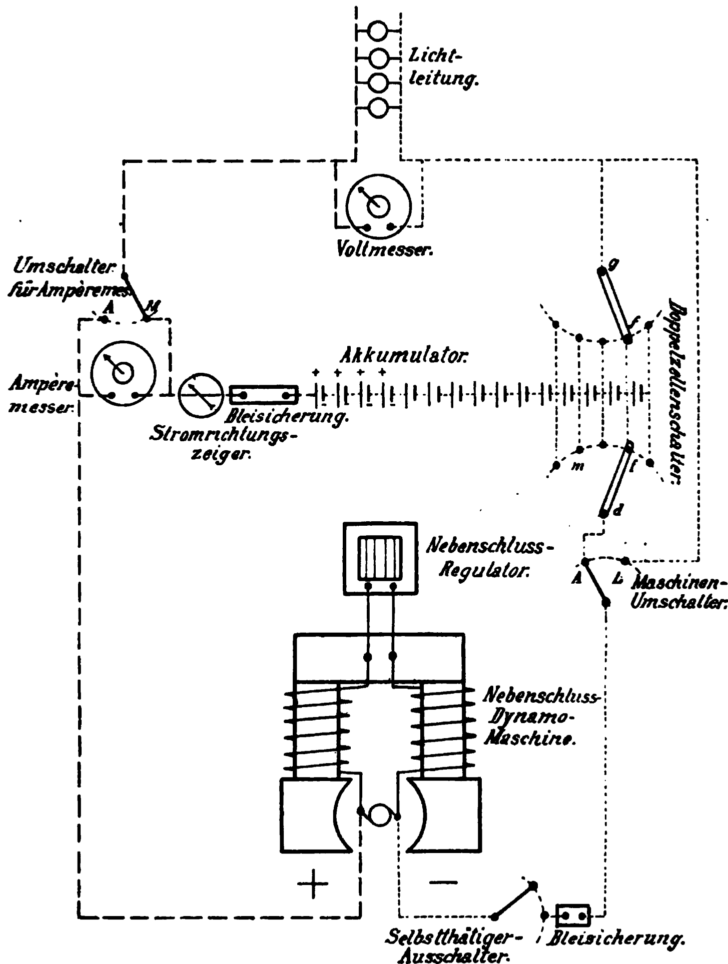


Fig. 15.

Zum Zweck der Ladung stellt man den Hebel des Maschinen-Umschalters auf A.

Hieraus folgt, dass bei Schaltung Fig. 14, bei welcher Einfachzellenschalter zur Anwendung kommen, der Ladestrom immer durch sämmtliche Zellen führt. Da nun die ersten am Zellenschalter liegenden Zellen, wie eben erklärt, weniger entladen sind wie die

andern Zellen, so werden dieselben auch früher geladen sein, wie die andern; das Weiterladen derselben ist daher zwecklos und immer mit Kraftverlust verbunden. Dieser Verlust hat bei kleinen Anlagen einen geringen Wert. Bei größeren Anlagen ist derselbe jedoch wohl zu berücksichtigen. Nehmen wir z. B. eine Zelle an, bei welcher der Ladestrom 230 Ampère beträgt, so ergibt sich bei einer Spannung nach erfolgter Ladung von 2·70 Volt für jede Zelle ein Verlust von 230 Ampère × 2·70 Volt = 621 Volt-Ampère, welcher Wert rund einer Pferdestärke (736 Volt-Ampère) entspricht. Der Einwand gegen den Einfachzellenschalter, dass man bei Anwendung desselben die geladenen Zellen nicht abschalten kann, erscheint demnach wohlbegründet.

Die Aufgabe, die geladenen Zellen abschalten zu können, löst in einfacher Weise die Anwendung von Doppelzellenschaltern, Schaltung Fig. 15. Ein Blick auf diese Schaltung zeigt, dass man durch das Drehen des Hebels *d f* am Zellenschalter jederzeit in der Lage ist, die geladenen Zellen abzuschalten, wodurch jeder überflüssige Verlust beim Laden des Sammlers vermieden wird. Ein eng hiermit zusammenhängender Vortheil der Anwendung des Doppelzellenschalters ist der, dass, da gegen Ende der Ladung in der Regel bereits Zellen von der Ladung ausgeschlossen sind, die Spannung der Maschine in dieser Zeit nicht so hoch zu sein braucht, als dies bei Anwendung eines Einfachzellenschalters nöthig sein würde.

32. Beanspruchung der am Zellenschalter liegenden Zellen. Wenn während der Ladung des Sammlers Lampen brennen, Schaltung Fig. 14, so geht durch diejenigen Zellen, welche zwischen dem Maschinen-Umschalter und dem Punkt, an welchen der Hebel *f g* des Zellenschalters Kontakt hat, liegen, also diejenigen, welche zwischen *A* und *e* ihren Platz haben, der Ladestrom des Sammlers, zuzüglich des Stromes, welcher in der Leitung verbraucht wird. Von *e* ab trennt sich der Strom, indem der Ladestrom durch den Sammler weiter geht, während der Strom zur Speisung der Lampen den Weg *e, f, g, h* in die Lichtleitung nimmt. Die am Zellenschalter liegenden Zellen erhalten demnach unter Umständen einen stärkeren Strom, als ihn der für die betreffende Größe als höchst zulässige Ladestrom angibt. Für diese Zellen gestatten die Tudor-Sammler eine Ueberschreitung des als höchst zulässig angegebenen Ladestromes um 20 %. Brennen soviel Lampen in der Leitung, dass der Ladestrom zuzüglich des Stromes in der Leitung diese Grenze überschreitet, so muss entweder der Ladestrom oder die Anzahl der während der Ladung brennenden Lampen, bis zur Einhaltung der vorgeschriebenen Grenze für den Gesammtstrom, verringert werden, oder aber

es müssen die am Zellenschalter liegenden Zellen entsprechend vergrößert werden. Für diese größeren Zellenschalter-Zellen ist ebenfalls eine Ueberschreitung des Ladestromes um 20 % gestattet. Selbstverständlich muss in einem solchen Falle der Zellenschalter dieser größeren Beanspruchung entsprechend stärker bemessen werden.

Wenn die Maschinenleistung an und für sich nicht den als höchst zulässig angegebenen Ladestrom des betreffenden Sammlers zuzüglich 20 % überschreitet, wie dies bei neu projektirten Gesammtanlagen der Fall sein sollte, so ist schon durch diese natürliche Grenze selbstverständlich einer Ueberanstrengung der Zellenschalter-Zellen vorgebeugt. Wenn viele Lampen während der Ladung mitbrennen, so ist selbst bei kleinen Anlagen ein Doppelzellenschalter, der lebhaften Gasentwicklung in den Zellenschalter-Zellen wegen, empfehlenswert.

33. Maschinen-Umschalter. Geht man vom Ladebetrieb zum Parallelbetrieb der Maschine und des Sammlers über, so wird der Hebel des Maschinen-Umschalters, Fig. 14, von *A* auf *L* gestellt. Der Strom der Maschine nimmt dann seinen Weg über *L h* in die Lichtleitung, während der Strom des Sammlers über *f, g, h* in die Lichtleitung fließt. Die Vereinigung des Maschinenstromes mit dem Sammlerstrom findet somit bei *h* statt. Könnte der Hebel des Maschinen-Umschalters bei Anwendung von Einfachzellenschaltern, Schaltung Fig. 14, beide Kontakte *A* und *L* gleichzeitig berühren, so würden in dem Augenblicke gleichzeitiger Berührung die Zellen zwischen *A* und *e* über den Weg *L, h, g, f, e, A* kurz geschlossen sein, was dadurch vermieden wird, dass man den Maschinen-Umschalter mit Unterbrechung ausführt, d. h., dass man zwischen *A* und *L* einen für das Ausschalten genügend großen Zwischenraum schafft. Infolge dieses Ausschaltens wird alsdann die Maschine stromlos, und der selbstthätige Ausschalter schaltet aus, so dass für den Augenblick des Ueberganges der Sammler den Strom für die Lichtleitung allein liefern muss. Der Uebergang vom Ladebetrieb zum Parallelbetrieb muss daher zu einer Zeit vorgenommen werden, während welcher der Verbrauch in der Lichtleitung die als höchst zulässig angegebene Entladungsstromstärke des Sammlers nicht übersteigt. Sobald der Hebel des Maschinen-Umschalters auf *L* gestellt wurde, bringt man die Spannung der Maschine auf eine um 5 Volt höhere als diejenige ist, welche in der Lichtleitung herrscht, und schaltet den selbstthätigen Ausschalter wieder ein, wodurch der Parallelbetrieb hergestellt wird.

Dieses Stromloswerden der Maschine und das darauf folgende Ausschalten des selbstthätigen Ausschalters tritt bei Anwendung von Doppelzellenschaltern, Schaltung Fig. 15, nicht ein. Will man hierbei vom Lade-

betrieb zum Parallelbetrieb übergehen, dann stellt man die Hebel *df* und *gf* des Doppelzellenschalters so ein, dass dieselben einander gegenüberstehen, Fig. 15, und mit der gleichen Klemme Kontakt haben. Fig. 15 zeigt, dass bei dieser Stellung der Zellenschalterhebel durch das Umschalten des Maschinen-Umschalters von *A* nach *L* kein Kurzschluss entstehen kann. Der Maschinen-Umschalter wird daher bei Anwendung von Doppel-Zellenschaltern ohne Unterbrechung ausgeführt, d. h. die Anordnung wird so getroffen, dass der Hebel desselben beim Umschalten des Maschinenumschalters beide Kontakte *A* und *L* gleichzeitig berührt, wodurch das Ausschalten des selbstthätigen Ausschalters vermieden wird.

34. Parallelbetrieb und Wahl der Ladezeit. Es empfiehlt sich, die Ladung so vorzunehmen, dass dieselbe kurz vor dem Beginn des Hauptlichtbedarfes vollendet ist, so dass man von der Ladung unmittelbar zum Parallelbetrieb übergehen kann.

Bei Parallelbetrieb soll die Maschine immer möglichst voll ausgenützt werden und der Sammler nur soviel Strom abgeben, als der Bedarf in der Lichtleitung die Leistung der Maschine übersteigt. Diese Beschränkung der Entnahme aus dem Sammler hat den Zweck, die darauf folgende Ladezeit möglichst zu verkürzen und den Sammler zu befähigen, für den Fall eines plötzlichen Unbrauchbarwerdens der Dynamomaschine die Stromlieferung für die Leitung möglichst lange allein übernehmen zu können. Für einen solchen Notfall ist die dreifache höchste Entladestromstärke zulässig. Eine solche starke Inanspruchnahme für den Ausnahmsfall schadet dem Sammler nicht. Es ist jedoch die Wiederladung bald vorzunehmen und bei den nächsten beiden Ladungen je eine Stunde zu überladen.

35. Anordnung des Ampèremessers und des Ampèremesser-Umschalters. Bei Anlagen für 150 Ampère und höher wird sowohl in die Maschinenleitung, als auch in die Sammlerleitung je ein Ampèremesser eingeschaltet. Bei kleineren Anlagen für 30 bis 100 Ampère dagegen, kann einer dieser Ampèremesser durch einen Ampèremesser-Umschalter, Schaltung Fig. 15, erspart werden. Stellt man den Hebel des Ampèremesser-Umschalters auf *M*, so liest man am Ampèremesser die Stromstärke der Maschine ab, während der Ampèremesser bei der Stellung des Ampèremesser-Umschalters auf *A* die Stromstärke des Sammlers angibt.

36. Mitbrennen von Lampen während der Ladung. Eine Beleuchtungsanlage muss so eingerichtet sein, dass man augenblicklich Licht haben kann. Es muss daher auch die Möglichkeit vorgesehen sein, während der Ladung Lampen einschalten zu können.

Bei Beleuchtungsanlagen mit Sammlern, tritt häufiger als bei Anlagen ohne dieselben die Notwendigkeit ein, während der Tagesstunden zu beleuchten. Der Grund liegt darin, dass bei letzteren Anlagen die Dynamomaschine in der Regel am Tage stillsteht und einiger Lampen wegen, z. B. in Kellern, dunklen Arbeitsplätzen u. s. w., nicht in Thätigkeit gesetzt wird.

Dagegen ist fast überall, wo die Dynamomaschine am Tage behufs Ladung der Sammler während längerer oder kürzerer Zeit in Betrieb steht, dafür gesorgt, dieselbe zur Abgabe von Licht zu benützen.

Es entspricht demnach zumeist, die Anordnung so zu treffen, dass während der Ladung Lampen mitbrennen können. Eine Ausnahme hiervon findet bei der Anwendung von Compoundmaschinen statt; bei diesen hängt die Möglichkeit des Mitbrennens von Lampen von einem Vorversuch [1]) ab.

37. Zellenschalter. Wie oben angegeben wurde, steigt die Spannung am Ende der Ladung auf 2·70 Volt. Unter Berücksichtigung des Verlustes in der Ladeleitung und der Sicherheit halber, wird bei der Bestimmung der abzuschaltenden Zellen eine Spannung von 2·75 Volt zu Grunde gelegt. Für 110 Volt Spannung sind 60 Elemente erforderlich. Von diesen 60 Elementen genügen demnach $\frac{110}{2 \cdot 75} = 40$ Stück, um am Ende der Ladung die nöthige Spannung in der Lichtleitung hervorzubringen, so dass, wenn während der Ladung Lampen brennen sollen, mittels des Zellenschalters $60 - 40 = 20$ Zellen abgeschaltet werden müssen. Hieraus folgt die Regel, dass, wenn während der Ladung Lampen brennen sollen, der Zellenschalter für das Abschalten von $\frac{20}{60} = \frac{1}{3}$ sämmtlicher, für das regelrechte Brennen der Lampen erforderlichen Zellen eingerichtet werden muss. Wenn für Verluste in der Lichtleitung noch eine entsprechende Anzahl Zellen mehr angelegt wird, so müssen diese Zellen ebenfalls sämmtlich mittels des Zellenschalters abschaltbar sein, da wenn ein geringer Stromverbrauch in der Lichtleitung während der Ladung vorhanden ist, der Spannungsverlust nicht in Betracht kommt. Erfordern z. B. die Lampen eine Spannung von 110 Volt und ist ein Spannungsverlust in den Leitungen von 10 Volt vorhanden, so muss der Sammler für $110 + 10 = 120$ Volt berechnet sein und somit $\frac{120}{1 \cdot 83} = 66$ Zellen erhalten. Von diesen 66 Zellen entsprechen 60 der

[1]) Schaltungsbuch der Akkumulatorenfabrik-Aktiengesellschaft (System Tudor).

Anzahl, welche für das regelrechte Brennen der Lampen mit 110 Volt genügen, während 6 Zellen den Leitungsverlust ausgleichen. Wenn während der Ladung Lampen brennen sollen, müssen somit $\frac{60}{3} + 6 =$ $= 26$ Zellen mittels des Zellenschalters abgeschaltet werden können.

Für 110 Volt und 10 Volt Spannungsverlust in den Leitungen, also zusammen für 120 Volt, sind jedoch nur bei Privat-Anlagen, bei welchen häufig der volle Strombedarf bis zum Ende der Entladung stattfindet, 66 Elemente erforderlich. In Centralen dagegen findet die stärkste Beanspruchung lange vor Ende der Entladung statt, also zu einer Zeit, wo die Spannung des Sammlers noch mindestens 1·87 Volt beträgt, so dass hier 65 Zellen für den oben angegebenen Fall genügen. Am Ende der Entladung, also bei einer Spannung von 1·83 Volt für 1 Zelle ist in Elektricitätswerken der Leitungsverlust bedeutend geringer als 10 Volt. Wenn man nach beendigter Ladung den Sammler 2 Minuten lang mit der vollen Stromstärke entladet, so sinkt die Spannung bis auf 1·90 Volt. Den Uebergang von der hohen Spannung zu der niedrigeren kann man ohne Beeinflussung der Gleichmäßigkeit des Lichtes, allmählich stattfinden lassen, wenn man langsam unter Beobachtung des Voltmessers mittels des Nebenschluss-Regulators die Maschine so regulirt, dass ihr nach und nach weniger Strom entnommen wird, während man den Sammler unter Zuhilfenahme des Zellenschalters mehr und mehr bis zur vollen Entladestromstärke belastet. Häufig ist jedoch infolgedessen, dass erst einige Lampen beim Beginn der Entladung brennen, die volle Entladestromstärke nicht vorhanden und die Spannung deshalb im Anfang der Entladung etwas höher. Wenn während der Ladung keine Lampen brennen sollen, so rechnet man daher der Sicherheit halber die Anfangs-Entladespannung mit 2·1 Volt. Bei 110 Volt Lampenspannung ergeben somit die 60 erforderlichen Elemente bei der Entladung eine Anfangsspannung von $60 \times 2{\cdot}1$ Volt $= 126$ Volt, so dass $126 - 110 = 16$ Volt Spannung zuviel am Sammler vorhanden sind, woraus folgt, dass $\frac{16}{2{\cdot}1} = 8$ Zellen mittels des Zellenschalters abgeschaltet werden müssen, wenn während der Ladung keine Lampen brennen sollen, oder wenn der Zellenschalter nur bei der Entladung gebraucht wird, während die Ladung in 2 Reihen erfolgt.

Da eine bedeutende Anzahl von Drähten zwischen dem Zellenschalter und dem Sammler gezogen werden muss, ist es aus Billigkeitsrücksichten zu empfehlen, den Sammlerraum so nahe als möglich an den Maschinenraum zu legen; dadurch erleichtert sich gleichzeitig die

Wartung des Sammlers. Die Drähte für diejenigen Zellen, welche beim Parallelbetrieb in Betracht kommen, berechnet man bis zu 30 Meter erforderlicher Länge mit $^1/_2$ *mm*^{2} für 1 Ampère des höchst zulässigen Entladestromes, während man die übrigen Drähte, welche nur beim Ladebetrieb in Verwendung sind, mit $^1/_4$ *mm*^{2} für 1 Ampère des höchst zulässigen Entladestromes berechnet. Für Drahtlängen von mehr als 30 *m* muss man den Spannungsverlust in den Leitungen berücksichtigen und dann ist es empfehlenswert die Querschnitte so zu bemessen, dass für die erstgenannten Drähte der Verlust in denselben nie mehr als 1 Volt beträgt, während für die letztgenannten der Verlust 2 Volt betragen darf. Abweichend hiervon hat jedoch der Verlust in den beiden Enddrähten des Sammlers höchstens 0·5 Volt zu betragen. Im vorher angeführten Fall, wobei ein Zellenschalter für 20 Zellen zur Anwendung kommt, wirken 8 Zellen beim Parallelbetrieb mit und sind folglich 9 Drähte stark zu wählen, während die übrigen 12 Drähte schwächer sein können. Bei großen Elektricitätswerken erweist es sich jedoch als vortheilhaft, sämmtliche Drähte stark zu bemessen.

Die Zellenschalter müssen so eingerichtet sein, dass ein Kurzschließen der betheiligten Zellen durch dieselben ausgeschlossen ist. Wäre in Fig. 16 der Hebel *c d* so breit, dass er die beiden Kontakte a^1 und a^2 gleichzeitig berühren könnte, dann erschiene das zwischen beiden liegende Element e^1 über den Weg a^1, p^1. e^1, p^2, a^2 kurzgeschlossen. Um diesen Kurzschluss zu vermeiden und doch beim Uebergang von einem Kontakte zum anderen den Strom nicht zu unterbrechen, werden die Zellenschalter, wie es in Fig. 16 schematisch angegeben ist, ausgeführt. Zwischen den Kontakten a^1, a^2 u. s. w. befinden sich die blinden Klemmen b^1, b^2 u. s. w. An dem breiten Schleifhebel *c d* ist der schmale Schleifhebel *f g* befestigt. Beide Hebel sind durch das nichtleitende Stück *i* von einander isolirt, dagegen durch den Widerstand *w* mit einander leitend verbunden. Dieser Widerstand *w* ist so groß bemessen, dass er bei der für die betreffende Elementgröße höchst zulässigen Entladestromstärke 2 Volt vernichtet.

Tritt nun der Hebel *c d* zum Zwecke des Abschaltens einer Zelle auf die blinde Klemme b^2, so befindet sich der Hebel *f g* auf dem Kontakte a^1, und somit wird der Strom auf dem Wege p^1, a^1, *g*, *f*, *w*, *d*, *c*, *z*, *m* abgeleitet. Bei der weiteren Verschiebung des Hebels tritt *c d* auf a^2, während *f g* sich noch auf a^1 befindet, so dass die Zelle e^1 auf dem Wege p^1, a^1, *g*, *f*, *w*, *c d*, a^2, p^2 eingeschaltet ist. Ein Kurzschluss erscheint aber durch die Einfügung des Widerstandes *w* verhindert, so dass der Entladestrom der Zelle e^1 die als höchst zulässig angegebene Entladestromstärke nicht überschreitet.

Bei der am Ende der Bewegung einzuhaltenden normalen Stellung, bei welcher *c d* voll auf a^2 und *f g* voll auf b^2 aufliegt, ist *f g* und der Widerstand *w* außer Thätigkeit, so dass der Strom den Weg über p^2, a^2, *d c*, *z*, *m* findet. Es ist streng darauf zu achten, dass der Hebel in der Ruhe immer die normale Stellung einnimmt und nie dauernd auf irgend einer Zwischenstellung stehen bleibt.

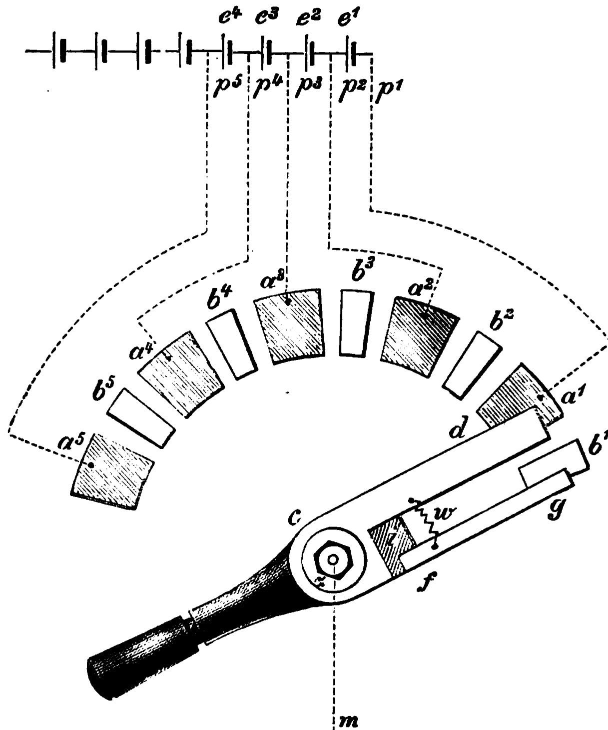


Fig. 16.

Ein anderes jedoch nicht so empfehlenswertes Aushilfsmittel um den Kurzschluß von Zellen beim Ab- oder Zuschalten derselben zu vermeiden, ist das, dass man in die Leitungen zwischen dem Zellenschalter und dem Sammler, also in p^1, a^1, p^2, a^2 u. s. w., je einen Widerstand legt, welcher so groß ist, dass er bei der für den Sammler als höchst zulässig angegebenen Stromstärke 1 Volt tilgt, so dass durch beide in Betracht kommende Drähte 2 Volt vernichtet werden. Zu diesem Zwecke kann statt des sonst für elektrische Leitungen gebräuchlichen Kupfers ein anderes schlechter leitendes Metall z. B. Eisen für die Verbindungsleitungen gewählt werden. Bei dieser

Anordnung ist jedoch ein beständiger Verlust von 1 Volt vorhanden und es erweist sich deshalb die erstgenannte Einrichtung mit dem im Zellenschalterhebel selbst liegenden Widerstand als am einwurffreiesten.

Fig. 17 zeigt das Bild eines von der Firma B. Egger & Co. ausgeführten Zellenschalters.



Fig. 17.

Wie oben angegeben wurde, ist durch Anwendung eines Doppelzellenschalters die Möglichkeit vorhanden, die geladenen Zellen abzuschalten.

Um nun den Wärter der Aufgabe zu entheben, jedesmal in den Sammlerraum zu gehen, um nachzusehen, ob die betreffende Zelle bereits geladen ist, rüstet die Akkumulatoren-Fabrik-Aktiengesellschaft ihre Doppelzellenschalter mit der Vorrichtung aus, welche Fig. 18 schematisch angibt. Hierdurch erscheint es möglich, im Maschinenraum selbst zu erkennen, ob die Ladung der betreffenden Zelle soweit vorgeschritten ist, dass dieselbe abgeschaltet werden kann. Selbstverständlich erhalten die Doppelzellenschalter auch die bei Fig. 16 angegebene Vorrichtung zur Verhinderung des Kurzschließens der Zellen, welche hier, als nicht in Betracht kommend, der Uebersichtlichkeit halber fortgelassen wurde. Die Lage des Doppelzellenschalters entspricht genau der bei der Schaltung angegebenen Lage, so dass die Leitung *d s*, Fig. 18, nach der Klemme *A*, Fig. 15, des Maschinen-Umschalters führt.

An dem Hebel *c d*, mittels dessen man die geladenen Zellen abschaltet, befindet sich die seitliche Verlängerung *t c*. Auf dieser Verlängerung sind 2 Kontaktfedern isolirt befestigt, deren eine *q r* eine leitende Verbindung von der Klemme a^3 mit dem Schleifring *o p* herstellt, während die andere Feder *h i* von der Klemme a^4 nach dem Schleifring *m n* führt. An die beiden Schleifringe ist der Voltmesser *v* angeschlossen, so dass man an dem Letzterem die Spannung der Zelle e^3 ablesen kann. Zur Abschaltung liegt zunächst die Zelle e^2. Da aber die Zelle e^2 allgemein weniger entladen sein wird als e^3, so wird e^2 sicher geladen sein, wenn e^3 diejenige Spannung besitzt, welche die vollständige Ladung bedingt. Man kann alsdann den Hebel c d um einen Kontakt weiter rücken, so dass derselbe auf a^3 zu stehen kommt, wobei die Kontaktfedern gleichzeitig je einen Kontakt weiter rücken und auf a^4 beziehungsweise a^5 zu stehen kommen.

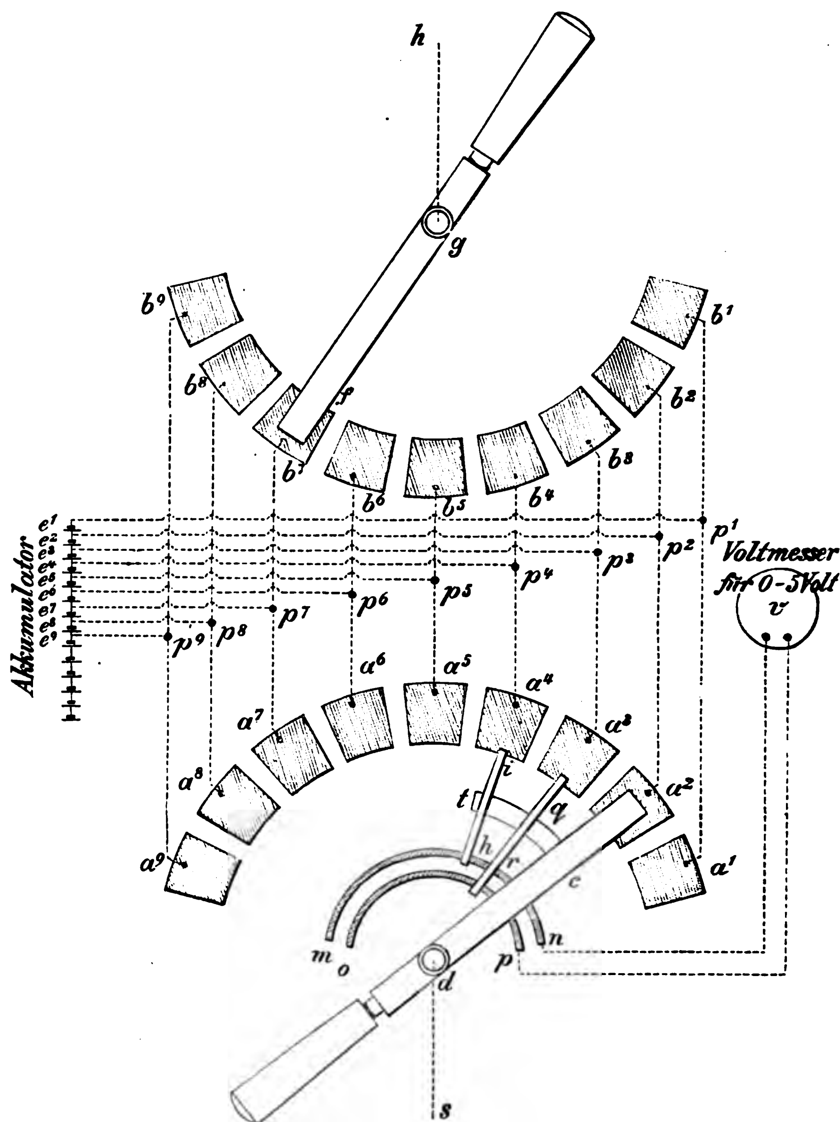


Fig. 18.

Dass man nicht die Spannung der zunächst zur Abschaltung gelegenen Zelle e^2, sondern diejenige ihrer weiter vom Ende entfernt liegenden Nachbarzelle e^3 misst, ist durch folgende Betrachtung begründet. Um bei der in Fig. 18 wiedergegebenen Stellung des Hebels die Spannung der Zelle e^2 ablesen zu können, müsste man den Voltmesser v mit Klemme a^2 und a^3 verbinden, so dass die Uebermittlung

der Spannung der Zelle e^2 durch die Leitungsdrähte e^2, p^2, a^2 und e^3, p^3, a^3. erfolgen würde. Durch den einen dieser Drähte, nämlich e^2, p^2, a^2 geht jedoch der Ladestrom, so dass man am Voltmesser nicht allein die Spannung der Zelle e^2, sondern diese zuzüglich des Spannungsverlustes in dem bezeichneten Leitungsdraht abliest. Dieser Spannungsverlust hat bei verschiedenen Ladestromstärken verschiedene Werte, so dass die genaue Spannungsbestimmung ohne zu Hilfenahme einer Tabelle nicht durchführbar ist; deshalb wurde von dieser Anordnung abgesehen.

Ein anderes Aushilfsmittel wäre die Anordnung von Prüfdrähten, parallel zu den in der Fig. 18 angegebenen Leitungsdrähten.

Es dürften alsdann die Kontaktfedern *q r* und *o p* jedoch nicht mehr auf a^3, a^4 u. s. w. schleifen, sondern es müsste für diese ein besonderer kleiner Zellenschalter ausgeführt und zu dessen Klemmen die Prüfdrähte geführt werden. Die Umständlichkeit dieser Anordnung wurde jedoch durch das oben angeführte Aushilfsmittel umgangen.

Außer dem Einwand, dass man bei der Ausführung nach Fig. 18 nicht die Spannung der zur Zeit der Abschaltung vorliegenden Zelle, sondern diejenige ihrer Nachbarzelle abliest, ist noch folgender Einwand gegen diese Anordnung zu erheben: Steht z. B. der Hebel *f g* nicht, wie in der Zeichnung angegeben, auf Klemme b^7, sondern auf b^4, so erscheint wenn in der Lichtleitung während des Ladens Strom verbraucht wird, der eine nach der Kontaktfeder *i k* die Spannung übermittelnde Leitungsdraht e^4, p^4, a^4 vom Strom durchflossen, wodurch ebenfalls der Spannungsmesser nicht allein die Spannung der Zelle, sondern diese vermehrt um den, durch den Strom in dem betreffenden Leitungsdraht hervorgerufenen Spannungsverlust, anzeigt. Dieser Fall tritt immer ein, wenn der Hebel *f g* dem Hebel *c d* um einen oder zwei Kontakte voreilt. Es lässt sich jedoch alsdann, entweder durch Vorschiebung des Hebels *f g* nach der Mitte der Zellen oder Zurückschiebung des Hebels *c d* nach dem Ende der Zellen, die wahre Spannung des Elementes leicht ermitteln.

Die Spannung, bei welcher die betreffenden Zellen die vollzogene Ladung anzeigen, wird am besten durch genaue Beobachtung an Ort und Stelle festgestellt und von Zeit zu Zeit wieder auf ihre Richtigkeit geprüft, da es vorkommen kann, dass im Laufe der Zeit Veränderungen in der Angabe des Voltmessers eintreten.

Der Hebel *c d* darf nur, wenn dies beim Abschalten der geladenen Zellen erforderlich erscheint, nach und nach soweit vorgeschoben werden, bis er dem Hebel *g f* gegenübersteht; ein Voreilen des Hebels *c d* über *g f*, in der Richtung nach der Mitte der Zellen hinaus, ist nicht gestattet,

weil sich sonst die zwischen *cd* und *fg* liegenden Zellen schon mit dem, für die Lichtleitung zur Zeit erforderlichen, Strome entladen.

38. Aufstellung der Sammler. Die Räume, in welchen Sammler zur Aufstellung kommen, sind abzusondern und gut zu lüften, da beim Laden große Mengen von Gasen, welche Säuren mit sich führen, entwickelt werden. Diese Gase sind für den Organismus des menschlichen Körpers schädlich.

Tritt man in einen nicht durchlüfteten Sammlerraum mit einem offenen Lichte ein, dann ist die Gefahr einer Explosion vorhanden.

Die Sammler werden zumeist auf eine gemauerte Bank, auf ein Holz- oder Eisengestell in mehreren Neben- und übereinander befindlichen Abtheilungen aufgestellt, jedoch so, dass dieselben behufs Prüfung und Untersuchung bequem zugänglich sind.

Besondere Sorgfalt erfordert die Isolation des Sammlers von der Erde. Die bei der Gasentwickelung mitgerissene Säure bedeckt auch die Außenfläche der Gefäßwände. Die so entstehende Flüssigkeitsschicht bildet, in Folge der großen Oberfläche der sämmtlichen Zellen, eine erhebliche Fehlerquelle der Isolation. Man beseitigt diesen Fehler durch das Aufstellen der Gefäße auf Porzellan- und andere Isolatoren.

Schaltapparate und Messinstrumente sollen außerhalb des Sammlerraumes aufmontirt werden, da die Säure auf die Metallbestandtheile derselben oxydirend wirkt. Die blanken Kupferleitungen sind aus demselben Grunde mit Oelfarbe anzustreichen.

39. Anwendungen des Sammlers. Der Sammler hat hauptsächlich den Zweck, die Erzeugung der Elektricität wirtschaftlich und sicher zu gestalten. Die wichtigsten Fälle, in denen die Sammler praktische Verwendung finden, sind folgende:

1. Die Ansammlung des Stromes, um denselben nach dem Maschinenbetriebe zu verwenden. Dieser Fall wird sich insbesondere dann als praktisch erweisen, wenn der Stromverbrauch großem Wechsel unterliegt. Zur Zeit des geringen Stromverbrauches arbeitet die Maschinenanlage nicht mehr wirtschaftlich; man speist dann Lampen, Motoren u. s. w. von dem Sammler aus. Eine besondere Ersparnis tritt hier auch durch den Wegfall jeder Bedienung ein.

2. Die Ansammlung der Elektricität einer überzählig vorhandenen Betriebskraft behufs späterer Ausnützung im Falle des Bedarfs. In diesem Falle arbeiten, während des stärksten Betriebes, Dynamo und Sammler in Nebeneinanderschaltung, den schwachen Betrieb übernimmt der Sammler allein.

3. Die Erreichung eines vollkommen ruhigen und gleichmäßigen Lichtes.

4. Die Ermöglichung eines praktischen Betriebes bei einer gleichmäßigen Betriebskraft durch das Laden des Sammlers zur Zeit schwächeren Betriebes.

5. Die Erzielung eines andauernden Betriebes z. B. bei Kesselanlagen. Das kostspielige Anheizen der Kessel kann in Sammlerbetrieben eingeschränkt werden.

6. Die Kraftübertragung mittels elektrischer Bahnen, Boote u. s. w.

7. Die Herstellung einer gleichmäßigen Betriebsspannung. Bei unregelmäßigem Gange des, die Dynamo antreibenden, Motors gleicht der Sammler die, durch den unregelmäßigen Gang, verursachten Schwankungen des Lichtes aus. Der Nutzstromkreis wird in diesem Falle von der Dynamo und dem Sammler in Nebeneinanderschaltung oder nur von dem Sammler gespeist.

8. Die Umsetzung von Gleichstrom (§ 16) für Beleuchtung, Kraftübertragung, elektrochemische und andere Zwecke.

9. Die Sicherung des Betriebes gegen Störungen. Im Falle des Versagens der Dynamo übernimmt der Sammler, ohne jede Störung, den Betrieb. Aushilfsmaschinen sind nicht erforderlich.

10. Die Erhöhung der Lebensdauer der Glühlampen. Bei Anlagen mit Sammlern sind starke Schwankungen in der Spannung, welche für die Lebensdauer der Glühlampe schädlich sind, ausgeschlossen.

11. Die Anwendung des Sammlers in der Telegraphie in großen Aemtern und dort, wo der Widerstand der Batterie sehr klein sein muss.

12. Die Verwendung des Sammlers als Normalelement. Da der Sammler lange Zeit hindurch gleiche Spannung hält, findet derselbe als Normalelement, bei den genauesten Messungen, vortheilhafteste Verwendung.

13. Eine kleinere Dynamo genügt für einen größeren Betrieb. Der Sammler ermöglicht in diesem Falle eine außerordentliche Ausnützung der vorhandenen elektrischen Anlage. Erweiterungen des Betriebes sind ohne Vergrößerung der maschinellen Anlage möglich.

14. Die Anwendung eines bedeutend schwächeren (billigeren) Leitungsnetzes bei zweckmäßiger Einrichtung desselben.

40. Nachtheile der Sammler. Die wichtigsten Nachtheile der Sammler sind:

1. Die hohen Anschaffungskosten.

2. Der Verlust an elektrischer Arbeit durch die Umsetzung derselben in dem Sammler.

3. Die Umständlichkeit des Betriebes.

II. Kapitel.

Praktische Konstruktionen.

41. Sammler mit massiven Platten.

1. Der Sammler von Planté (1859), Fig. 19 bis 21. Die Bleiplatten, Fig. 19 und 20, werden, durch Kautschukbänder voneinander getrennt, auf einem Holzcylinder zu einer Spirale, Fig. 20, aufgerollt. Nach dem Aufrollen entfernt man den Holzcylinder. Die Bleirollen halten durch gekreuzte Stäbe aus Guttapercha, an den Stirnflächen der Rolle, zusammen. Fig. 21 stellt den fertigen Sammler dar. Die Bleirolle befindet sich in einem, mitverdünnter Schwefelsäure gefüllten, Glasgefäße.

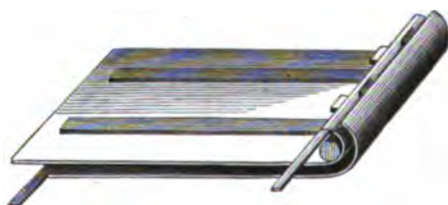


Fig. 19.



Fig. 20.



Fig. 21.

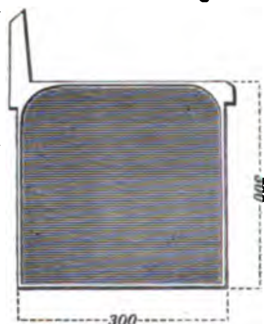


Fig. 22.

2. Der Sammler von Tudor (Akkumulatorenfabrik-Aktiengesellschaft, System Tudor, vormals Müller & Einbeck, Hagen i. W.)[1]), Fig. 22 bis 25. Die Elektroden werden in eisernen Formen aus einem Stücke gegossen; sie haben die in Fig. 22 abgebildete Gestalt. Beide Seiten der Platten enthalten eine große Anzahl horizontaler Rinnen; letztere stehen etwa 1·5 *mm* voneinander ab und sind 1·5 bis 2 *mm* tief. Um den Platten besondere Haltbarkeit zu verleihen, lassen die Rinnen, sowie es Fig. 22 veranschaulicht, einen etwa 10 *mm* breiten Rand frei. An dem oberen Ende der Platte befindet

[1]) Autentische Messungen über diesen Sammler wurden von Otto Berner, Gustav Conz, Wilhelm Peukert und Voller ausgeführt.

sich an der einen Seite ein Ansatz (Fahne), an der anderen Seite eine Nase. Die Fahnen dienen zum Anlöthen der Bleileisten, welche die einzelnen Zellen leitend miteinander verbinden, die Nasen zum Aufhängen der Elektrodensätze. Zum Zwecke der Füllung der negativen Platten werden Bleiglätte und Mennige zu einem Brei angemacht, mit

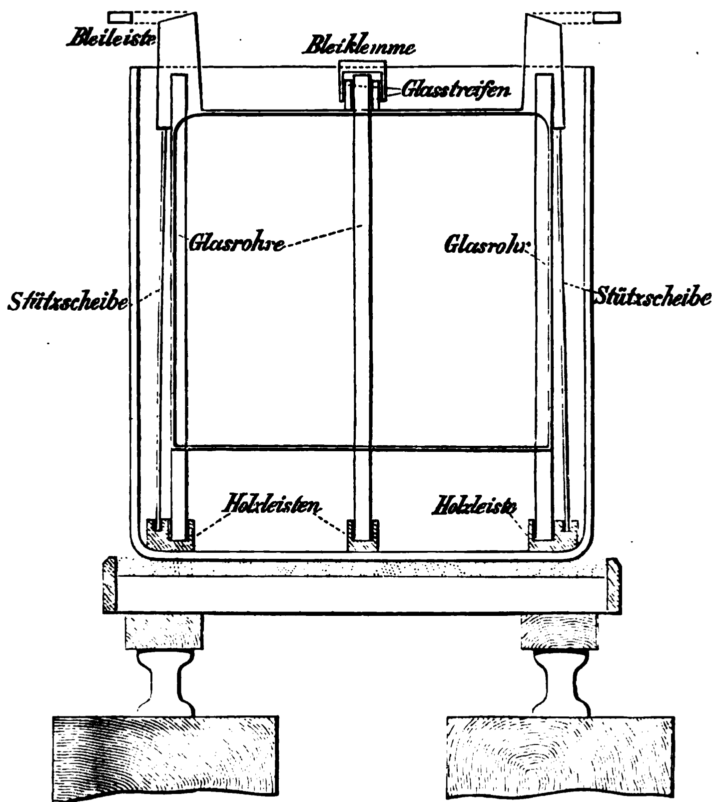


Fig. 23.

einem Spatel in die Platten eingetragen, getrocknet und längere Zeit in verdünnte Schwefelsäure eingetaucht.

Die Formirung der negativen Platten erfolgt während der ersten Ladung des Sammlers, sie dauert etwa 30 bis 40 Stunden. Die positiven Platten werden ohne Füllung zu sogenannten Formirungszellen zusammengestellt und mehrere Monate formirt. Hierauf trägt man in die Rinnen der getrockneten Platten einen, aus Mennige mit verdünnter Schwefelsäure hergestellten, Brei ein, und formirt nach dem Trocknen nochmals kurze Zeit nach; sodann werden die Platten sorgfältigst ver-

packt, nach ihrem Bestimmungsorte versendet und zwar die positiven in geladenem, die negativen in ungeladenem Zustande. Die positiven Elektroden sind deshalb vor der Versendung zu laden, weil sich sonst, in Schwefelsäure gestellt, an ihrer Oberfläche schwefelsaures Blei bilden würde; die geladenen, negativen Platten dagegen sind mit Wasserstoff gesättigt und nehmen aus der Luft Sauerstoff auf, wodurch sich das Blei oxydirt und die Bleiplatten erhitzen. Am Bestimmungsorte werden die Elektroden, sowie es die Fig. 23 bis 25 darstellen, zu Elektrodensätzen, zu Zellen und schließlich zu einem Sammler angeordnet und durch Bleileisten miteinander verlöthet.

Die Gefäße der einzelnen Zellen bestehen aus Glas oder aus mit Blei ausgekleidetem Holze. Auf dem Boden liegen Holzleisten, Fig. 23 und 24, in den Nuten der Holzleisten (Stützhölzer) stehen Glasplatten (Stützscheiben), welche als Träger der Elektrodensätze dienen. Die nebeneinander hängenden positiven und negativen Platten sind voneinander durch je drei senkrecht stehende Glasstäbe in entsprechende Entfernung gehalten. Als Führung dient dem mittlerem Glasstabe eine eigene Nutenleiste, den beiden äußeren Glasstäben eigene Nuten in den Holzleisten der Stützscheiben. Sämmtliche Elektroden werden durch Holzleisten (Endleisten) zusammengehalten, welche zwischen den äußersten (End-) Platten und der Gefäßwand, Fig. 24, eingeklemmt sind. Zwischen den Endleisten und der Gefäßwand befindet sich ein Gummischlauch, dessen Elasticität eine Ausdehnung der Elektroden, ohne Gefahr für das Gefäß, zulässt. Die Elektroden sind so aufgehängt, dass die Entfernung zwischen der Unterkante derselben und dem Gefäßboden etwa 8 *cm* beträgt. Es ist so für die herabfallende Füllmasse genügend Raum vorhanden und ein Kurzschluss durch Ansammeln der Masse zwischen den Platten vermieden. Einerseits der Zelle werden sämmtliche negative, andererseits derselben sämmtliche positive Platten mittels ihrer Fahnen an einer gemeinsamen Bleileiste verlöthet. Die so entstehenden Systeme von positiven und negativen Elektroden (Elektrodensätze) der einzelnen Zellen werden nun untereinander verlöthet.

Die Zellen sind in der Regel hintereinander, seltener nebeneinander geschaltet. Bei der Hintereinanderschaltung verlöthet man die positive Bleileiste der einen Zelle mit der negativen der nächsten u. s. w. Bei der Nebeneinanderschaltung werden sämmtliche positive Bleileisten zu einem (dem positiven), sämmtliche negative zu einem zweiten (dem negativen) Pole vereinigt. Das Blei wird, um die Verbindungsstelle vor Oxydation zu schützen, mit sich selbst verlöthet. Ein fremdes Löthmateriale findet nicht Verwendung. Die Endplatten der einzelnen Zellen sind negativ, so dass die Zelle eine negative Platte mehr enthält, als positive.

Die Zellen sind absichtlich derart konstruirt, dass nach einigen Jahren beinahe sämmtliche Füllmasse herausfällt. Die Planté-Schicht

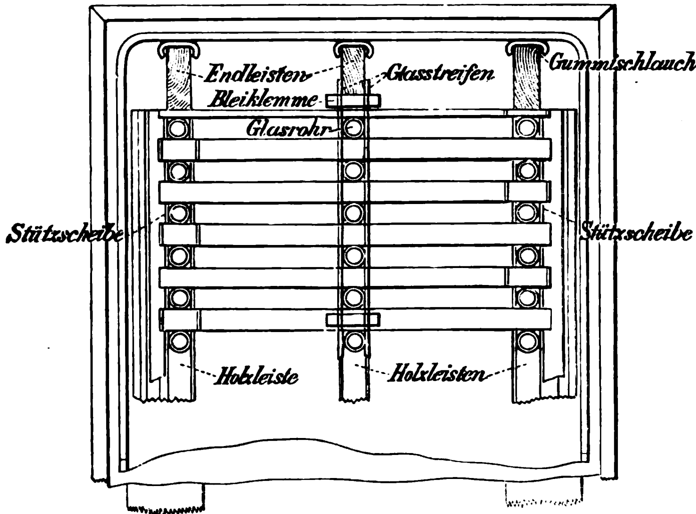


Fig. 24.

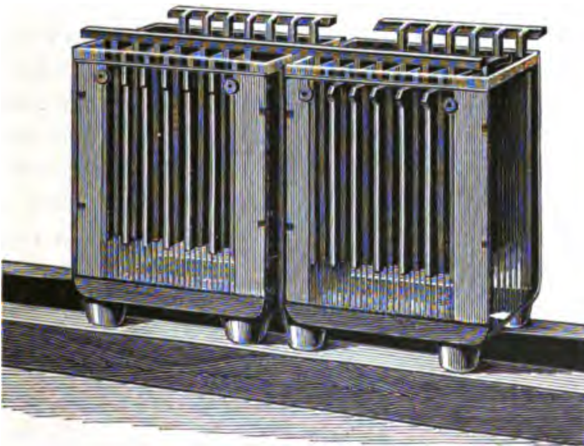


Fig. 25.

ist dann so mächtig geworden, dass die Kapacität der Zellen einen größeren Wert besitzt, als bei der Inbetriebsetzung derselben.

Die Glasgefäße werden auf mit Glasmehl ausgefüllte Holzuntersätze gestellt. Das Glasmehl schützt den Sammler vor Feuchtigkeitsschlüssen und gibt dem Glasgefäße eine gute Unterlage. Die Holzuntersätze

stehen, durch Porzellanrollen isolirt, auf einem hölzernen, eisernen oder gemauerten Gestelle.

Der Sammler mit Holzgefäß ist gerade so aufgebaut, wie der mit Glasgefäß.

42. Sammler mit Gitterplatten.

1. Der Sammler von Faure (1881). Die Elektroden dieses Sammlers bestanden aus Bleiplatten, welche mit Mennige bestrichen waren. Die Mennige wurde mit verdünnter Schwefelsäure zu einem Brei angemacht.

2. Der Sammler von Faure-Sellon-Volkmar (F. S. V.). Fig. 26 bis 28, enthält Gitterplatten, deren Oeffnungen mit einer Mischung aus Mennige und Bleiglätte ausgefüllt sind. Die Gefäße bestehen aus Holzkästen, welche innen mit Kautschuk oder Ebonit ausgelegt werden, oder aus Glas- oder Ebonitgefäßen. Dieser Sammler wird in England von der Elektrical Power Storage Company (E. P. S.), in Deutschland von der Allgemeinen Elektricitätsgesellschaft und von J. L. Huber in Hamburg gebaut. Das Bleigitter, Fig. 26 und 27, hat quadratische Zwischenräume, Fig. 26, von doppelteonischer Gestalt, Fig. 27. Die Füllmasse ist knetbar und kann leicht herausfallen. Beim Füllen liegen die Gitter auf einer Holz- oder Steinplatte. Der Brei wird mittels großer Leisten eingestrichen. Die Platten sind von einander durch Kautschukpflöcke, um die Platten gezogene Gummiringe, Glas- oder Hartgummistreifen isolirt. Sämmtliche Platten werden durch feste Kautschukbänder, Fig. 28, zusammengehalten. Auf dem Boden des Gefäßes liegen zwei Glasprismen, auf welchen der Plattenkörper steht.

Barber und Starkey[1]) haben die Platten dieses Sammlers, welche nach längerem Stehen mit weißem schwefelsaurem Blei bedeckt waren, ohne sie auseinander zu nehmen, durch Zusatz von Soda zum Theile brauchbar gemacht.

Swinburne hat zuerst gefunden, dass sich durch Zusatz von Soda schwefelsaures Natron bildet, welches das schwefelsaure Blei theilweise auflöst.

3. Der Sammler von J. L. Huber. Das Bleigitter hat dieselbe Form wie der E. P. S. Sammler (Fig. 26 und 27), besteht jedoch aus Hartblei (4% Antimon, 96% Blei) auch Julien-Metall genannt. Die Gitter aus Bleilegirungen sind härter, leichter und dauerhafter, als die rein metallischen Bleigitter. Die Pfropfen der aktiven Masse sind durchlocht; dadurch vergrößert sich die Oberfläche der Platten und die aktive Masse kann sich, ohne Gestaltveränderung, ausdehnen.

---

[1]) Elektrotechnische Zeitschrift, Berlin, 1887, Seite 144.

4. **Der Sammler von Correns.** Das Bleigitter der Platten besteht aus einer Gitter-Doppelplatte; letztere hat die Form zweier, mit rechtwinkeligen Maschen versehenen, gegen einander versetzten,

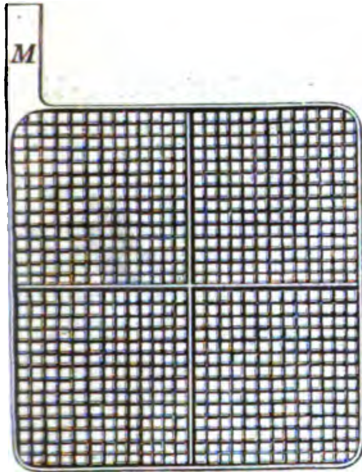


Fig. 26.



Fig. 27.

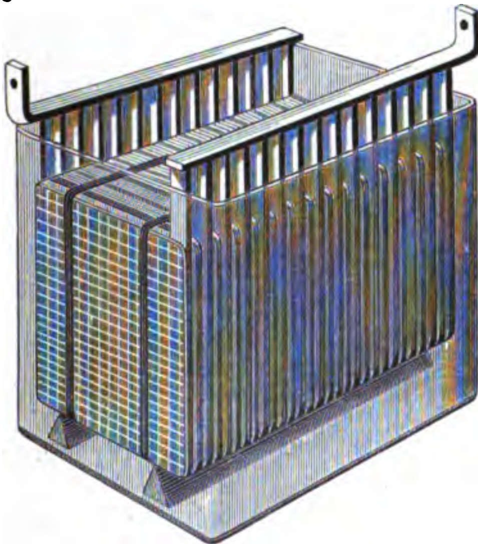


Fig. 28.

quer verspreizten und an den Rändern verbundenen Gitter. Das Innere dieses Gerippes ist mit der aktiven Masse ausgefüllt.

5. **Der Sammler von Gottfried Hagen** (**Kölner Akkumulatorenwerke**). Die Gitterdoppelplatten unterscheiden sich von

denen der Correns-Sammler dadurch, dass die quadratischen Öffnungen der Gitter nicht gegeneinander versetzt sind und an den Kreuzungspunkten durch kurze cylinderische Verbindungsstücke zusammenhängen.

43. Sammler mit Streifenplatten.

Der Sammler von De Khotinsky (Elektriciteits-Maatschappiy). Die Zellen sind entweder flach oder hoch angeordnet. Die Elektroden bestehen aus Bleistreifen, welche tiefe Rinnen besitzen. Die Zellen für rasche Entladung haben niedrigere Rinnen, als jene für langsame Entladung. Innerhalb der Rinnen befindet sich die Füllmasse. Die Ränder der Rinnen sind T-förmig, so dass diese Form die Masse am Herausfallen hindert. Bei der flachen (niedrigen) Bauart sind nur wenige Streifen übereinander angeordnet, bei der hohen Bauart werden mehrere schmale Platten zu einer hohen zusammengesetzt.

44. Sammler mit halbfestem Elektrolyt.

Der Sammler von Schoop. Die Bleigitter der Zellen nehmen die Füllmasse in dreieckigen Oeffnungen auf. Die Gefäße bestehen aus Glas, Holz oder Hartgummi. Die Elektroden befinden sich anstatt in verdünnter Schwefelsäure in einer gallertartigen Masse. Die Bestandtheile dieser Masse sind kieselsaures Natron (Natron-Wasserglas) und verdünnte Schwefelsäure. Bei der Mischung der genannten Bestandtheile scheidet sich eine gallertartige Kieselsäure aus. Die in die Zelle dünnflüssig eingefüllte Mischung wird schon nach einigen Stunden dickflüssig. Dieser Elektrolyt soll insbesondere die Bildung von Kurz- und Nebenschlüssen zwischen den Elektroden, das Herausfallen der Füllmasse, das Fallen von Gegenständen zwischen die Elektroden und das rasche Ausfließen des Elektrolyt beim Zerbrechen oder Undichtwerden des Gefäßes verhindern. Die gegen Ende der Ladung sich bildenden Gasblasen steigen zwischen der elastischen Masse und den Elektroden nach oben. Da sich der innere Widerstand der Zellen durch den gallertartigen Elektrolyt erhöht, muss, zur Verkleinerung desselben, die Plattenoberfläche vergrößert werden.

Infolge der bequemen Tragbarkeit der Zellen wären Sammler mit halbfestem Elektrolyt insbesondere für den Betrieb von Strassenbahnen, zur Beleuchtung von Eisenbahnzügen, zur Beleuchtung und zu dem Antriebe von Fahrzeugen u. s. w. vorzüglich geeignet.

III. Abschnitt.

Die elektrische Beleuchtung.

1. Kapitel.

Allgemeines.

45. Das elektrische Licht. Der elektrische Strom besitzt die Eigenschaft, einen Leiter, welchen er durchfließt, zu erwärmen. Den Grad der Erwärmung bestimmen hauptsächlich:

1. Die Stromstärke. Die Erwärmung nimmt mit der Stromstärke zu.

2. Das Materiale des Leiters. Das Kupfer verträgt eine größere Strombeanspruchung für 1 mm^2, als das Neusilber und erwärmt sich deshalb bei gleichem Querschnitte und gleicher Stromstärke nicht so stark als Neusilber.

3. Der Querschnitt des Leiters. Je größer der Querschnitt des Leiters ist, desto geringer werden die Beanspruchung des Drahtes für 1 mm^2 und die Erwärmung sein.

4. Die Länge des Leiters. Je länger der Leiter angenommen wird, desto höher steigt, bei gleicher Stromstärke, seine Temperatur. Dieser Umstand ist von ganz besonderer Wichtigkeit für die Sicherungen der Elektricitäts-Leiter.

5. Die Dauer der Stromwirkung. Erst nach einiger Zeit stellt sich für eine bestimmte Stromstärke eine gleichbleibende, normale Erwärmung ein.

6. Die Isolation des Leiters. Die Umgebung des Drahtes (Isolation) nimmt auf seine Temperatur Einfluss.

Ein isolirter Leiter erwärmt sich durch den Strom langsamer, als ein blanker, denn ruhende, trockene Luft ist der schlechteste Wärmeleiter und die Isolation eines Leiters vergrößert die Abkühlungsoberfläche desselben.

Bewegte Luft (Wind u. s. w.) ersetzt in der Nähe eines Leiters die erwärmten Lufttheilchen durch kältere und trägt so zur Abkühlung des Leiters bei.

Mit der Beanspruchung eines Leiters für 1 mm^2, oder mit der Verminderung seines Querschnittes, steigt die Temperatur bis zur Glühhitze.

Das von glühenden Stromleitern ausgestrahlte Licht, heißt elektrisches Licht.

Das Licht glühender Stromleiter nennt man Glühlicht.

Wenn die Berührung zwischen den Theilen eines Leiters Unvollkommenheiten zeigt, dann wird die Berührungsstelle heiß, verursacht Funkenbildung und schmilzt sogar, falls der geschädigte Querschnitt des Leiters ganz unzureichend ausfällt. Schickt man durch zwei sich berührende Kohlenstäbe einen elektrischen Strom, so wird die Berührungsstelle heiß, entfernt man die Kohlen von einander, so entsteht, wenn die Stromverhältnisse ausreichend sind, durch das Abreißen von Kohlentheilchen und das Glühen dieser, sowie der Lufttheilchen zwischen den Kohlen ein sogenannter Lichtbogen. Dieser Lichtbogen, welcher durch die Unterbrechung der Berührungsstelle zwischen den beiden Kohlen gebildet wurde, heißt Oeffnungsfunke zum Gegensatze von dem Schließungsfunken, der nur mittelst sehr hochgespannter Ströme zu erreichen ist, wenn man die Poldrähte derselben einander sehr nahe bringt. Auch hier erfolgt dann ein Glühen der Metalltheilchen und der Luft zwischen den Polen.

Gassiot (1844) hat mit einer Batterie von 3520 Elementen (Kupfer, Zink und Wasser) einen $^1/_4$ bis $^1/_2$ *mm* langen Schließungsfunken erhalten.

Das durch den Oeffnungs- und Schließungsfunken erzeugte elektrische Licht, nennt man elektrisches Bogenlicht.

Für die elektrische Bogenlichtbeleuchtung praktisch verwendbar ist nur der Oeffnungsfunke, weil zur Erzeugung von Schließungsfunken zu hohe Spannungsdifferenzen erforderlich sind. Die Erzeugung der elektrischen Funken datirt aus der Zeit der ersten Errungenschaften auf dem Gebiete der Elektricitätslehre.

Humphry Davy (1821) erzeugte zuerst einen elektrischen Lichtbogen zwischen zwei Kohlenspitzen mit einer Batterie von 2000 Elementen. Die Länge des Lichtbogens (im luftverdünnten Raume) betrug 10 *cm*.

Versuche haben erwiesen, dass sowohl vom positiven Pole (der positiven Elektrode), als auch vom negativen Pole (der negativen Elektrode) Theilchen losgerissen werden, welche gleichsam wie dünne Fäden den Raum zwischen den beiden Polen überbrücken. Ein Lichtbogen zwischen einer Kupfer- und einer Silber-Elektrode zeigt,[1]) dass sowohl Silber auf der kupfernen, als auch Kupfer auf der silbernen Elektrode vorhanden ist.

---

[1]) Dr. O. Frölich, Die Lehre von der Elektricität und dem Magnetismus.

Die Stärke des Lichtbogens ist abhängig von dem Materiale der Elektroden. Unter Voraussetzung gleicher Stromverhältnisse entsteht zwischen Platinspitzen ein schwacher, zwischen Zinkelektroden ein starker und zwischen Quecksilberelektroden ein noch stärkerer Lichtbogen. Zur Herstellung der Lichtbögen für Beleuchtungszwecke dienen Kohlen.

46. Die Fabrikation der Kohlen. Davy (1821) erzeugte den elektrischen Lichtbogen zwischen zwei Stäbchen aus Holzkohle. Diese Kohle hat nicht die genügende Festigkeit, einen zu hohen Widerstand, ermöglicht kein ruhiges Licht und verbrennt sehr rasch. Gaudoin (1828) verwendete mit Theer getränkte und ausgeglühte Holzkohlenstäbchen. Diese Kohle war fester und hatte Metallklang. Foucault benützte Coakskohle in Form von prismatischen und cylindrischen Stäben. Die Coakskohle erhält man aus den, bei der Gasbereitung aus Steinkohlen verbleibenden, Rückständen, wenn man dieselben in Stäbchen schneidet. Diese Kohlen sind sehr hart und werden infolgedessen langsam verbrennen. Für praktische Zwecke sind auch diese Kohlen nicht brauchbar, da dieselben ungleich dicht sind und fremde Beimischungen enthalten, so dass der Lichtbogen unruhig und ungleichmäßig wird.

Harte Kohlen sind leistungsfähiger als weiche; für lange Lichtbögen und zur Erzielung größtmöglicher Lichtmengen, sind weiche Kohlen vorzuziehen. Zur Erreichung farbiger Lichteffekte tränkt man die Kohlen mit Salzlösungen. Kohlen, welche ein gelbes Licht geben, vermögen den Nebel leicht zu durchdringen und finden deshalb zur Beleuchtung von Seen und auf dem Meere Verwendung.

Gute Kohlen haben folgende Eigenschaften:

1. Der Abbrand der Kohlen soll möglichst gering sein.

2. Gute Kohlen geben wenig Asche.

3. Schlägt man gute Kohlen gegeneinander, so geben sie Metallklang.

4. Gute Kohlen werden von einem Stahlmesser nicht geritzt.

5. Die Kohlen sollen nur so lange an den Spitzen rothglühen, als sie vom Strome durchflossen sind.

6. Gute Kohlen entwickeln keine undurchsichtigen Gase.

7. Die Asche reiner Kohlen hat eine graue, die unreiner eine röthliche Färbung.

8. Die Kohlenspitzen müssen gleichmäßig abbrennen. Bei Gleichstrom muss sich die obere Kohle gleichmäßig und in der Mitte aushöhlen, die untere regelmäßig zuspitzen. Durch ein zu starkes Zu-

spitzen der unteren Kohle entsteht nicht selten ein Kurzschluss des Lichtbogens.

9. Gute Kohlen schließen die Bildung von Silikaten im Lichtbogen, welche häufig zu dem Zischen, ja sogar zu dem Kurzschlusse, desselben Veranlassung geben, aus.

Unreine Kohlen erkennt man schon durch die Beobachtung eines, an ihre Pole angeschlossenen Voltmessers. Schwanken die Angaben des Voltmessers regelmäßig innerhalb enger Grenzen, in der Nähe einer bestimmten Einstellung, so lauft die Dynamo ungleichmäßig, schwanken die Angaben des Voltmessers unregelmäßig, innerhalb weiter Grenzen, so ist die Kohle unrein. Das ungleichmäßige Laufen der Dynamo ist in der Regel auf den Antriebsmotor oder auf das Schleifen des Riemens zwischen Dynamo und Motor zurückzuführen.

Als Rohstoff für die Fabrikation der Kohlenstifte finden in jüngster Zeit hauptsächlich Graphit, Kienruß, und Retortenkohle Coaks-Verwendung. Krystallinischer Graphit enthält bis 98% Kohlenstoff und eignet sich zur Fabrikation der Kohlen vorzüglich. Kienruß nimmt sehr leicht Gase in sich auf. Retortenkohle kann nur mit großem Kostenaufwande von ihren Unreinigkeiten befreit werden.

Erst durch die Herstellung künstlicher Kohlen, die aus einer Masse gepresst werden, gelang es für praktische Zwecke entsprechende Kohlen zu erzeugen.

Von den vielen Verfahren der Fabrikation solcher Kohlen seien hervorgehoben:

1. Verfahren. Coaks oder Graphit werden fein gepulvert und um sie von Silikaten und Erden zu befreien, welche ein unruhiges Brennen des Lichtes verursachen, in alkalischen Lösungen gewaschen und mit flüssigen Kohlenwasserstoffen, Syrup und Theer in einer Knetmühle zu einem gleichmäßigen Brei gemengt. Der Brei wird entweder in einer Presse oder in Formen, Fig. 29, welche aus zwei, mit halbkreisförmigen Rinnen versehenen, Theilen bestehen, zu cylindrischen Stäbchen geformt. Durch den letzteren Vorgang sollen die Kohlen ein gleichmäßigeres Gefüge erhalten. Die Kohlenstäbchen lässt man trocknen und da dieselben jetzt noch nicht genügend fest sind, werden sie mehrmals mit Theer getränkt in feuerfeste Tiegel, die mit Kohlenpulver gefüllt sind, gebracht und in Glühöfen der Glühhitze ausgesetzt. Dieser Vorgang ist so oft zu wiederholen, bis das Gefüge und die Festigkeit der Kohlen entsprechen.

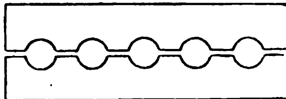


Fig. 29.

Wird das Material der Kohlen durch das obige Waschen nicht vollständig von den Silikaten und Erden befreit, so ist das Licht unruhig, das Schmelzen der Silikate beginnt, es tritt Kieselsäure, in Form von halbkugelförmigen Tröpfchen, aus der Kohle in den Lichtbogen und wenn dieselbe in den stärker erwärmten Theil desselben gelangt, erfolgt das sogenannte Zischen des Lichtbogens.

2. Verfahren.[1]) Möglichst reiner Kohlenstaub wird, mit Gummi als Bindemittel, zu einem Brei angemacht und durch Ausziehen, Schneiden oder Druck in Stäbchen geformt. Das Verfahren mittelst Druck gibt dichtere und geradere Stifte, deren Querschnitt jedoch unregelmäßig ist. In einem Ofen werden dann die Stäbchen unter Luftabschluss weitgehendst ausgeglüht, um die Kohle von kohlenwasserstoffhaltigen Gasen zu befreien, welche den Lichtbogen verlängern, schwächen und unbeständig machen. Die Stäbchen werden weiters in eine warme Zuckerlösung getaucht und um das Eindringen der Lösung in die Poren derselben zu erleichtern, nach und nach abgekühlt, dann in einem geschlossenen Gefäße so lange der äußeren Karbonisirung (Verkohlung) unterzogen, bis sie die erforderliche Festigkeit besitzen. Schließlich trocknet man die Stifte in einem Gefäße etwa 15 Stunden bei einer Temperatur von 170° C.

Um den Widerstand der Kohlen zu verringern, werden dieselben von einigen Fabrikanten mit galvanoplastischen Metallüberzügen (zumeist Kupferüberzügen) versehen.

Die Kohlen für Bogenlampen zerfallen in sogenannte Homogen- und Docht-Kohlen. Die ersteren haben eine gleichmäßige Dichte (ein gleichmäßiges Gefüge). Die Dochtkohlen, deren Kerne aus einem weniger dichten Materiale bestehen, werden nur als positive Kohlen verwendet, um die Kraterbildung am positiven Pole zu vermehren und am richtigen Orte (in der Mitte der positiven Kohle) entstehen zu lassen.

Mit der Fabrikation der Kohlen haben sich zuerst Carré in Paris und Gebrüder Siemens in Charlottenburg befasst.

47. Anordnung der Kohlen. Die beiden Kohlen, zwischen welchen der Lichtbogen entstehen soll, werden praktisch übereinander angeordnet.

Bei Gleichstromlampen nimmt man die obere Kohle als die positive Kohle an, weil der Krater derselben einen Reflektor für das Licht bildet und dasselbe nach unten und seitwärts reflektirt. Man erkennt die richtige Anordnung der Kohlen bei Bogenlampen weiters durch das starke Glühen der positiven Kohle und daraus, dass bei verkehrter

---

[1]) Gerard (Kareis und Peukert), Elemente der Elektrotechnik.

Anordnung der Kohlen das Licht nach oben geworfen wird, was in einem geschlossenen Raume, an einer großen Helligkeit der Fläche über der Bogenlampe, ersichtlich ist.

Bei Wechselstrom werden die beiden Kohlen gleichmäßig zugespitzt und abgenützt.

48. Die Lichtvertheilung. Die Bilder der Lichtvertheilung bei Gleich- und Wechselstrom sind in den Figuren Fig. 30 und Fig. 31 veranschaulicht.

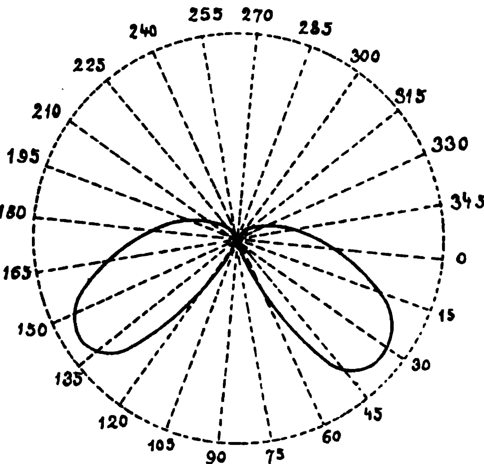
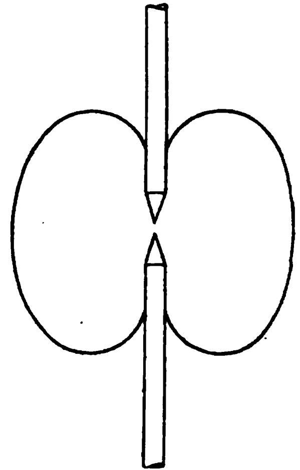


Fig. 30.


Fig. 31.

Bei Gleichstrom Fig. 30 tritt die größte Helligkeit (das Maximum der Helligkeit) unter den Winkeln von 30° bis 50° gegen die senkrechte Stellung der Kohlen auf.

Bei Wechselstrom, Fig. 31, ist die Lichtvertheilung nach den verschiedenen Richtungen des Raumes gleichmäßig.

49. Der Durchmesser der Kohlen hängt hauptsächlich von der Stromstärke ab. Starke Kohlen nützen sich weniger ab, besitzen jedoch verhältnismäßig eine geringere Leuchtkraft. In Gleichstromlampen wird die obere Kohle etwa doppelt so stark abgenützt, als die untere und muss deshalb entweder doppelt so lang oder besser von doppeltem Querschnitte sein. Doppelt lange Kohlen verlängern unnöthig die Bogenlampen. Glüht die Kohle auf einer zu langen Strecke, so wird der Widerstand derselben erhöht.

Der Durchmesser der Kohle muss deshalb mindestens so groß sein, dass die Glühstrecke keine wesentliche Widerstandsvermehrung zur Folge hat.

50. Die Bogenlänge. Je nachdem der Lichtbogen zu groß oder zu klein ist, wird das Licht unruhig sein oder die negative Kohle einen zu großen Schatten werfen. Die Länge des Lichtbogens bei den Stromstärken von 3 bis 100 Ampère und den entsprechenden Spannungen von 35 bis 55 Volt sind in der folgenden Tabelle, nach meinen praktischen Erfahrungen, zusammengestellt. Die diesbezüglichen Versuche stammen aus dem Jahre 1888; sie wurden für hohe Stromstärken mittelst eines großen Reflektors der Firma B. Egger & Co., welcher, anlässlich der Jubiläums-Gewerbe-Ausstellung (1888), von mir auf der ersten Laterne der Rotunde, im k. u. k. Prater in Wien, zur Effektbeleuchtung aufgestellt und dirigirt wurde, ausgeführt.

51. Die Spannung zwischen zwei Kohlen. Die Grenzen für die Spannung des elektrischen Lichtbogens liegen bei Gleichstrom zwischen 30 und 58, bei Wechselstrom zwischen 25 und 30 Volt.

Kohlen für Gleichstrom.

Die oberen und unteren Kohlen sind gleich lang.

Durchmesser in *mm*		Licht-bogen-Länge in *mm*	Strom-stärke in Ampère	Span-nung in Volt	Normal-Kerzen	Brenndauer in Stunden			
Dochtkohle Oben	Homogen-kohle Unten					bei 200 *mm* Länge	bei 250 *mm* Länge	bei 300 *mm* Länge	bei 350 *mm* Länge
8	5	1·1	1·5	32	120	6	7·5	9	10·5
11	7	1·5	3	35	250	8·5	11	14	15
16	10	2	6	38	600	10	13	16	18
18	11	2·5	8	39	850	10	13	16	18
19	12	3	10	40	1150	10	13	16	18
20	13	3·5	14	41	1700	10	13	16	18
21	14	4	17	42	3200	10	13	16	18
22	15	4·5	23	43	3000	10	13	16	18
24	16	5	30	44	—	10	13	16	18
25	17	5·5	35	45	—	11	14	17	19
26	18	6	40	46	—	11	14	17	19
28	19	6·5	45	47	—	11	14	17	19
30	20	7	50	48	—	11	14	17	19
32	21	7·5	55	49	—	11	14	17	19
34	22	8	60	50	—	11	14	17	19
36	23	8·5	65	51	—	11	14	17	19
38	24	9	70	52	—	12	15	18	20
40	25	9·5	75	53	—	12	15	18	20
42	26	10	80	54	—	12	15	18	20
44	27	10·5	85	55	—	12	15	18	20
46	28	11	90	56	—	12	15	18	20
48	29	11·5	95	57	—	12	15	18	20
50	30	12	100	58	—	12	15	18	20

Dochtkohlen für Wechselstrom.

Durchmesser in *mm*	Lichtbogen-Länge in *mm*	Stromstärke in Ampère	Spannung in Volt	Brenndauer in Stunden		
				bei 200 mm Länge	bei 250 mm Länge	bei 350 mm Länge
7	1	3	25	7	9	12
8	1·2	4·5	25	7	9	12
9	1·5	6	25	7	9	12
10	1·8	9	26	7	9	12
12	2	12	26	7	9	12
14	2·1	15	27	8	10	14
16	2·2	20	28	9	11	16
20	2·5	30	29	9	12	16
23	2·7	40	30	10	13	18
26	3	50	31	10	14	18

Bei Wechselstrom verwendet man für die obere und untere Kohle gleichstarke und gleichlange Dochtkohlen.

Je kleiner man die Lichtbogenlänge einstellt, desto mehr nähert sich die blaue Farbe des Wechselstromlichtbogens der weißen Farbe des Gleichstromlichtbogens.

52. Den Widerstand des Lichtbogens [1]) berechnet man aus dem Ohm'schen Gesetze

$$W = \frac{E}{J}, \text{ d. h. der}$$

$$\text{Widerstand des elektrischen Lichtbogens} = \frac{\text{Spannung an den Kohlenspitzen.}}{\text{Stromstärke in der Lampe.}}$$

II. Kapitel.

Lampenregulatoren.

53. Eintheilung. Die Lampenregulatoren sind nach der Art der Regulirung:

1. Handregulatoren.
2. Elektrische Kerzen.
3. Mechanische Regulatoren.

---

[1]) Grundlegende Arbeiten über den Widerstand des Lichtbogens haben verfasst:

Edlund, Poggend. An. Bd. 131, Seiten 586 ff.

O. Frölich, Elektrotechnische Zeitschrift, 1883, Seite 150.

Wilhelm Peukert, Zeitschrift für Elektrotechnik, 1885, IV. Heft.

F. Uppenborn, Centralblatt für Elektrotechnik, 10 Bd. Seite 102 und Elektrotechnische Zeitschrift, 1890, Seite 138.

M. Schreihage, Centralblatt für Elektrotechnik, 10. Bd. Seite 640 u. Andere.

54. Die Handregulatoren. Beim Handgebrauche werden die Kohlen der Bogenlampen einander bis zur Berührung genähert, beim Einschalten auf den normalen Lichtbogen eingestellt und ihrem Abbrennen entsprechend genähert. Diese Regulatoren finden bei Effektbeleuchtungen als Reflektoren in Theatern, Ausstellungen, zu Projektionszwecken u. s. w. Verwendung.

55. Elektrische Kerzen. Die beiden Kohlen der elektrischen Kerzen stehen parallel nebeneinander. Der Lichtbogen bleibt nur dann gleich lang, wenn die beiden Kohlen gleichmäßig abbrennen. Diese Apparate bedingen Wechselstrom. In der Jablochkoff-schen Kerze, Fig. 32, ist der Zwischenraum zwischen den Kohlen K_1 und K_2 mit einer Mischung, bestehend aus Gips und schwefelsaurem Baryt, ausgefüllt. Dieses Isolationsmaterial verflüchtigt sich beim Abbrennen der Kohlen. Der Widerstand zwischen den beiden Kohlenspitzen ist sehr groß und muss, wenn der Lichtbogen entstehen soll, durch Kohlenpulver oder ein anderes leitendes Materiale überbrückt werden. Durch die Klemmen C_1 und C_2 und die metallenen Hülsen H_1 und H_2 wird den Kohlen K_1 und K_2 Wechselstrom zugeführt.

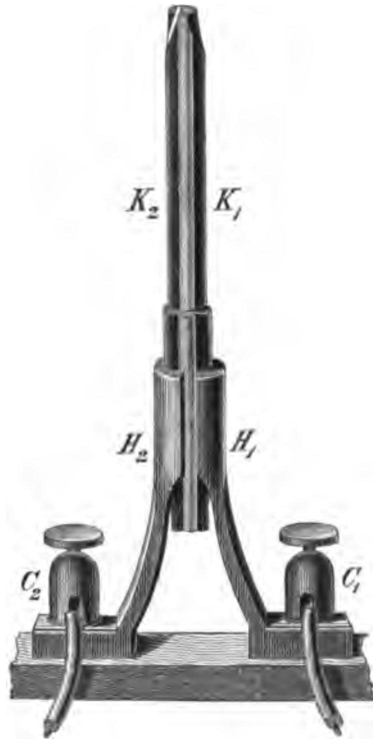


Fig. 32.

Die Nachtheile dieser Kerze sind:

1. Die kurze Brenndauer (etwa 2 Stunden).

2. Ein automatisches Selbsteinschalten dieser Kerze nach dem Versagen derselben ist ausgeschlossen.

3. Die Leuchtkraft hat einen geringeren Wert als bei den Bogenlampen.

4. Der Farbenwechsel des Lichtes, verursacht durch Unreinigkeiten der Isolation zwischen den Kohlen.

5. Die Kerze bedingt die Anwendung von Wechselstrom.

6. Das Licht ist unruhig.

Mittelst der Jablochkoff'schen Kerze gelang es zuerst mehrere Bogenlichter hintereinander zu schalten (das elektrische Licht zu theilen).

Diese Kerzen besorgten die erste definitive elektrische Straßenbeleuchtung im Jahre 1877 in Paris, Avenue de l'Opéra. Andere elektrische Kerzen stammen von Wilde und Jamin.

56. Die mechanischen Regulatoren haben den Zweck, die Kohlen einander bis zur Berührung zu nähern, den normalen Lichtbogen einzustellen und zu erhalten; dieselben werden in

1. Hauptstromregulatoren,
2. Nebenschlussregulatoren und
3. Differenzialregulatoren eingetheilt.

57. Hauptstromregulatoren. Die magnetisirenden Windungen dieser Regulatoren sind, sowie die Kohlen, in den Hauptstromkreis eingeschaltet, die Regulirung wird durch die Einwirkung derselben auf einen Eisenkern besorgt. Fig. 33 stellt das Schaltungschema der Hauptstromregulatoren in der einfachsten Form dar. Bei einem größeren, als dem normalen Lichtbogen wird der Widerstand desselben größer und die Stromstärke in den Windungen des Solenoides, sowie dessen magnetische Kraft, kleiner. Der Eisenkern muss infolge des Uebergewichtes der oberen Kohle gehoben und die letztere der unteren Kohle genähert werden. Der Strom fließt von der positiven Klemme durch die Spule (dicke Windungen, bemessen nach der Stromstärke der Lampe), den oberen Kohlenhalter, die beiden Kohlen und verlässt die Lampe bei der negativen Klemme.

Daher gehören die Lampen von Foucault und Duboscq (1848), Archereau, Serrin, Jaspar, die Serienlampen von R. Gülcher und Anderen. Die beiden ersten Erfinder haben zuerst praktisch brauchbare Regulatoren konstruirt.

1. Der Regulator von Archereau, Fig. 34, zeigt die einfachste Ausführung des Wesens der Hauptstromregulatoren. Die untere Kohle steht in fester Verbindung mit dem Eisenkerne E; durch das Gewicht G wird dieselbe im stromlosen Zustande gegen die obere Kohle gedrückt. Sobald der Strom die Lampe durchfließt, zieht das Solenoid den Eisenkern E in seine Höhlung und bildet den Lichtbogen. Den Stromverlauf machen in der Zeichnung die Pfeile ersichtlich.

2. Die Lampe von Jaspar, Fig. 35. Der obere Kohlenhalter K_1 ist durch eine Schnur S mit dem Umfange der Rolle R_1 verbunden, welche mit den Rollen R_2 und R_3 auf einer gemeinschaftlichen Welle aufmontirt erscheint. Die Rolle R_2 wird mit dem Träger der unteren Kohle durch eine, zu der früheren Schnur entgegengesetzt verlaufende, verbunden, so dass die Kohlenhalter mit einander in fester Verbindung sind. Im stromlosen Zustande sitzt die obere Kohle infolge des eigenen

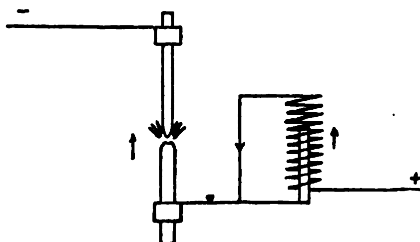


Fig. 33.

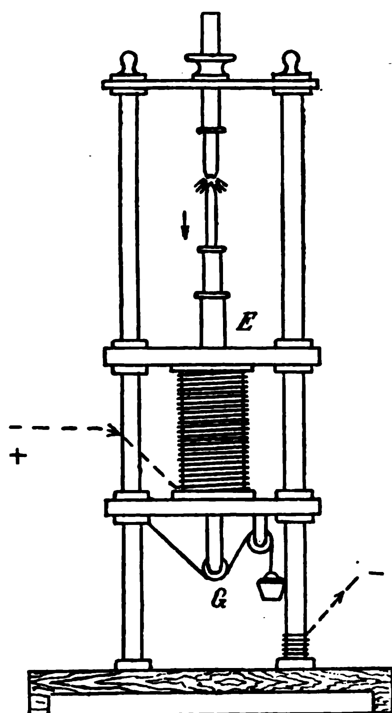


Fig. 34.

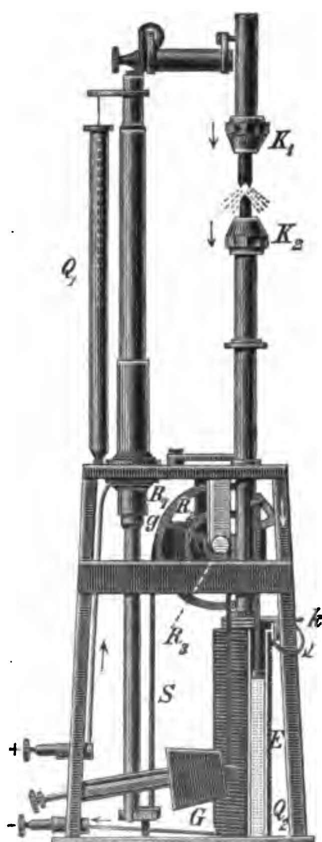


Fig. 35.

und des Gewichtes ihres Halters auf der unteren Kohle. Der Strom tritt bei der positiven Klemme ein, durchfließt den oberen Kohlenhalter (derselbe ist von dem Gestelle der Lampe isolirt), die obere und untere Kohle, erhält bei der Schraube k Kontakt mit dem Lampengestelle, durchfließt das Solenoid E und geht zur negativen Klemme. Das Solenoid zieht den Eisenkern an und bildet den Lichtbogen, während das Uebergewicht des oberen Kohlenhalters über den unteren die Berührung der Kohlen aufrecht zu erhalten sucht. Die Einstellung auf einen bestimmten, normalen Lichtbogen wird durch das Gewicht G besorgt, welches durch eine, in der Figur ersichtliche, Schnur mit der Rolle R_2 in Verbindung steht und die untere Kohle nach abwärts zieht. Die Einwirkung eines Solenoides auf einen Eisenkern hängt von der Lage desselben ab; sie ist am größten, wenn sich der Eisenkern außerhalb der Mitte des Solenoides befindet. Den Einfluss der Stellung des Solenoides gleicht ein excentrisches Gegengenwicht g an der Rolle R_1 aus. Da sich die Radien der Rollen R_1 und R_2 wie 2 : 1 verhalten, so ist das Verhältnis der Geschwindigkeiten der Bewegungen der positiven und negativen Kohle wie 2 : 1, was mit dem doppelt raschen Abbrennen der positiven Kohle übereinstimmt. Die Quecksilberbremsen Q_1 und Q_2 sind zur Dämpfung der Bewegungen mit der oberen, beziehungsweise unteren Kohle in fester Verbindung.

58. Nebenschlussregulatoren. Fig. 36 zeigt das einfachste Bild eines Nebenschlussregulators; derselbe besteht aus einem Solenoid S in dessen Höhlung ein Eisenkern, frei beweglich hineinragt. An dem Eisenkerne ist ein Hebel befestigt, welcher auf der, dem Eisenkerne entgegengesetzten, Seite eines Drehpunktes D den, dem unteren Kohlenhalter gegenüber befindlichen, oberen Kohlenhalter trägt. Das Reguliren der Lampe besorgt das Solenoid S (mit vielen Windungen eines dünnen Drahtes).

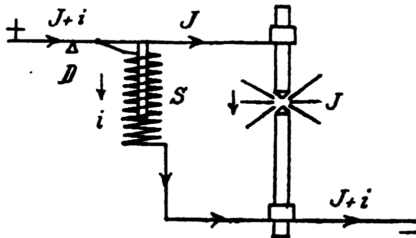


Fig. 36.

Der in die Lampe, bei der positiven Klemme, eintretende Strom theilt sich in zwei, durch die Klemmen der Lampe parallel geschaltete, Zweige, den Hauptstrom J und den Nebenschlussstrom i. Der Hauptstrom J durchfließt die beiden Kohlen, der Nebenschlussstrom i geht durch die Windungen des Solenoides zur negativen Klemme. Der Strom i ist der Spannung des Lichtbogens proportional. Sitzen die

beiden Kohlen aufeinander, so erhalten die Spannung des Lichtbogens und der Strom i einen ganz geringen Wert, der Eisenkern hebt sich und stellt den normalen Lichtbogen ein. Bei zu großem Lichtbogen dagegen, steigen die Spannung des Lichtbogens und die Stromstärke i, das Solenoid zieht den Eisenkern stärker an und stellt den normalen Lichtbogen ein. Diese Lampen reguliren daher im Gegensatze zu den Hauptstromregulatoren, deren Regulirung auf der Erhaltung gleicher Stromstärke beruht, auf gleiche Spannung (35 bis 50 Volt) des Lichtbogens.

Das Solenoid S ist bei den meisten Nebenschlusslampen durch einen Elektromagnet ersetzt, welcher vermittelst eines Ankers einen oder beide Kohlenhalter in Bewegung setzt und dadurch den Abstand der Kohlenspitzen verkleinert.

Die Bildung des Lichtbogens besorgt auch häufig ein, in den Hauptstromkreis eingeschalteter, Elektromagnet mit wenigen Windungen eines dicken Drahtes.

Sobald der Strom die Kohlen durchfließt, reißt dieser Elektromagnet einen Anker an und stellt den Lichtbogen ein.

1. Die Flachdecklampe von Siemens & Halske, Fig. 37 bis 39, ist für reine Parallelschaltung, sowie für die Parallelschaltung von Gruppen paarweise hintereinander geschalteter Lampen geeignet. Sie trägt ihren wirksamen elektrischen Mechanismus auf einem messingenen, mit einer flachen cylindrischen Schutzkappe bedeckten Teller T, Fig. 37. Die Lampe wird nach einfacher Einstellung auf die gewünschte Stromstärke, sowie geeignetem Einstellen der Kohlenhalter und Einsetzen passender Kohlen für Stromstärken von 3 bis 12 Ampère benützt. Der wirksame elektrische Mechanismus besteht aus 2 Theilen, von welchen der erste zum Anzünden, der zweite zum Nachschieben der oberen Kohle dient. Der erste Theil wird durch einen, vom Hauptstrome durchflossenen, stehenden Elektromagnet H bewegt, dessen unter den Magnetschenkeln liegender Anker E mit dem oberen Kohlenhalter durch die Leitspindel S verbunden ist, so dass sich der Kohlenhalter bei Anziehung des Ankers, um die zur Bildung des Lichtbogens nöthige Entfernung, hebt.

Der zweite Theil des Lampenmechanismus enthält einen, mit vielen Windungen dünnen Drahtes bewickelten, liegenden Magnet N_1 N_2, der im Nebenschlusse zum Lichtbogen eingeschaltet und mit einem bei Anziehung des Ankers E sich selbstthätig ausschaltenden Kontakte C versehen ist, wodurch bewirkt wird, dass der Anker bei genügender Erregung des Elektromagnetes eine fortdauernde, hin- und hergehende Bewegung annimmt. Der selbstthätige Kontakt C hat dieselbe Einrichtung, wie der

Kontakt des im I. Theile, Seite 24, wiedergegebenen Läutewerkes. Die obige Bewegung tritt ein, wenn die Zugkraft des Magnetes, infolge des sich verstärkenden Stromüberganges durch den Nebenschluss, den Gegenzug der vorhandenen Arbeitsfeder *F* überwindet. Sobald dies geschieht,

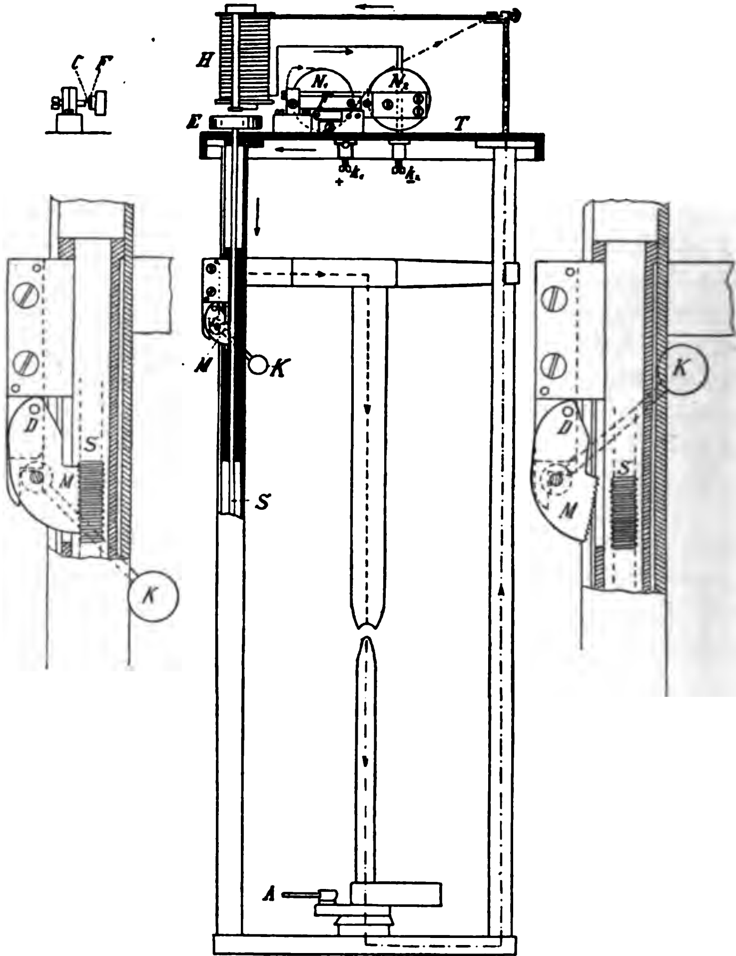


Fig. 37.

wird auch der durch die Nebenspule gehende Strom durch das Oeffnen des selbstthätigen Kontaktes *C* unterbrochen und dadurch die magnetische Anziehung aufgehoben; jetzt kommt der Gegenzug der Arbeitsfeder *F* zur Wirkung, der unterbrochene Kontakt *C* schließt sich und es bethätigt sich wieder der Nebenstrom; der Nebenschluss-Anker tritt in Thätigkeit

und das vorige Spiel der elektromagnetischen Einrichtung beginnt von Neuem. Durch die periodisch sich wiederholenden Oscillationen des Nebenschlussmagnetankers wird, mittelst einer Art Friktionskuppelung, eine Metallscheibe in ruckweise Umdrehung versetzt, indem ein um dieselbe gelegtes Kupferband beim Anziehen des Ankers *E* die Scheibe loslässt und beim Losschnellen des Ankers *E* die Scheibe um einen kleinen Umdrehungswinkel mit sich herumzieht. Die Scheibe ist an einer, durch die hohle Gestellsäule hindurchgehenden, Schraubenspindel befestigt, in

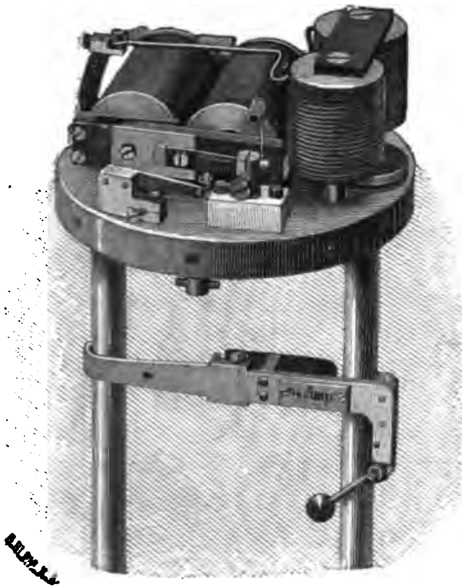


Fig. 38.

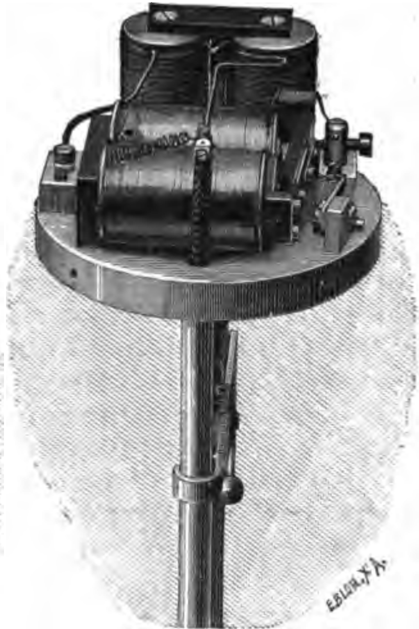


Fig. 39.

welche durch einen Längsspalt der betreffenden Säule das Querstück des oberen Kohlenhalters mit einer Mutter eingreift. Die Schraubenmutter kann, zum Zwecke des Verschiebens dieses Kohlenhalters, von Hand beim Einsetzen eines frischen Kohlenstabes durch das Zurückschlagen des kleinen Hebels *K* aus der Schraubenspindel gerückt werden.

Bei dieser, in ihrer Anordnung und insbesondere durch den Vorschubmechanismus des beweglichen Kohlenhalters, eigenthümlichen Konstruktion wurde hauptsächlich darauf Rücksicht genommen, dass der oberhalb durch den Regulirapparat nöthige Aufbau der Lampe möglichst niedrig ausfällt, so dass dieselbe auch in geschlossenen, niedrigen Räumen an der Decke aufgehängt werden kann, ohne in störender Weise

nach unten hinabzureichen, wie dies bei den mit hohem Aufbau versehenen Lampen der Fall ist. Wegen des flachen, deckelartigen Gehäuses, durch welches der, oberhalb der Lampe befindliche, elektromagnetische Anlass- und Regulirapparat geschützt erscheint, wird diese Lampe als Flachdecklampe bezeichnet und für getheiltes Licht in Parallelschaltung, sowie in paarweiser Reihenschaltung angewendet. Für Reihenschaltung einer größeren Anzahl Lampen ist jedoch die Differentiallampe vorzuziehen. Die Lichtbogenregulirung bei der Flachdecklampe erfolgt, sowie bei allen Nebenschlusslampen, durch den Nebenschluss auf gleiche Spannung, im Lichtbogenstromkreise derartig, dass die oscillirende Bewegung des Ankers eines, im Nebenschlusse zum Lichtbogen eingeschalteten, Elektromagnetes den oberen Kohlenhalter, mittelst Umdrehung einer Schraubenspindel, vorschiebt. Die anfängliche Herstellung des Lichtbogens besorgt ein, in dem Hauptstromzweige eingeschalteter, Elektromagnet *H* mittelst Hebung der Leitspindel *S*.

Der untere Kohlenhalter ist fest, der obere wird von den beiden hohlen Säulen des Gestellrahmens geführt. In der einen dieser Säulen befindet sich die Leitspindel *S*, welche zum Vorschub des oberen, durch ein Querstück zwischen den Säulen geführten Kohlenhalters dient. Zum Zwecke der Bewegungsübertragung ist die betreffende Säule der Länge nach mit einem Schlitze versehen, so dass der Quersteg des oberen Kohlenhalters mit einer, auf der Leitspindel sitzenden, Mutter *M* in Verbindung gebracht und durch Umdrehung der Spindel zwischen seinen Führungen verschoben werden kann. Oben trägt die Leitspindel eine eiserne Scheibe *E*, welche mittelst Friktionskuppelung oder Sperrklinken oder eines Bremsringes vom oscillirenden Anker des Nebenschlussmagnetes N_1 N_2 in Umdrehung versetzt wird. Da dieser Magnet mit vielen Windungen dünnen Drahtes bewickelt ist, so geht bei normalem Widerstande im Lichtbogen, d. i. bei normaler Lichterzeugung, infolge des hohen Widerstandes in der Bewickelung des Nebenschlussmagnetes, nur ein sehr geringer Theil des Stromes durch diese Bewickelung hindurch. Der Nebenschlussmagnet N_1 N_2 wird unter diesen Umständen auch nur schwach magnetisch, so dass derselbe den Widerstand der, seinen Anker zurückhaltenden, Feder *F* nicht zu überwinden vermag; somit verbleiben der Anker, die Scheibe *E* und damit die Leitspindel *S* in Ruhe. Die Einstellung des Lichtbogens erfolgt ohne Mitwirkung des Nebenschlusses dadurch, dass der mit dickem Drahte, in wenig Windungen, bewickelte Elektromagnet *H* bei Inbetriebsetzung der Lampe von dem nach den Kohlen gesendeten Strome, ohne beträchtlichen Widerstand, durchlaufen und magnetisirt erscheint. Hierdurch wird bewirkt, dass dieser Magnet die Eisen-

scheibe E anzieht und somit die Leitspindel mit dem oberen Kohlenhalter hebt, so dass sich der Lichtbogen bilden kann. Wenn sich, infolge des Abbrennens der Kohlenspitzen, deren Entfernung allmählich vergrößert und der Lichtbogenwiderstand wächst, so wächst die magnetische Kraft des Nebenschlussmagnetes endlich derart an, dass dieselbe den Widerstand der Abreißfeder F überwindet und der Anker der Anziehung folgen muss, wobei derselbe auch die Scheibe E und mit derselben die Leitspindel S dreht. Um diese Drehung so oft zu wiederholen, als dies zur Erhaltung des normalen Lichtbogens nothwendig ist, wird bei der Anziehung des Ankers durch Lösung des Kontaktes C der Strom in der Bewickelung des Nebenschlussmagnets N_1 N_2 unterbrochen, dadurch dessen Wirkung auf den Anker aufgehoben und letzterer durch die Abreißfeder F zurückgeschnellt, so dass sich der Kontakt C wieder schließt und das Spiel der Ankerbewegung, so oft als es nöthig erscheint, wiederholt.

Um bei dem Einsetzen frischer Kohlenstäbe in die Lampe die Leitspindel rasch in die Höhe schieben zu können, ist die Mutter M aus dem Eingriffe mit dem Spindelgewinde ausrückbar eingerichtet.

Die Lampe wird in drei Größen, als große Flachdecklampe mit 400 *mm* Gesammtlänge der Kohlen für Gleichstrom von 6, 9 oder 12 Ampère, als kleine Flachdecklampe mit 400 *mm* Gesammtkohlenlänge für Gleichstrom von 3, 4, 5 oder 6 Ampère oder endlich auch als verkürzte kleine Flachdecklampe mit 250 *mm* Gesammtkohlenlänge für Gleichstrom von 3, 4, 5 oder 6 Ampère ausgeführt.

2. Die Bandlampe von Siemens & Halske,[1]) Fig. 40 und 41. Diese Lampe hat folgende Einrichtung:

Ein schrägstehender, an seinem unteren Ende um c, Fig. 41, drehbar gelagerter Rahmen r trägt die Trommel b, auf welche sich ein Kupferband wickelt, ferner ein Laufwerk sammt Echappement, welches sich beim Abwickeln des Kupferbandes von der Trommel in Bewegung setzen muss und endlich am oberen Ende einen Eisenanker e, welcher von dem Nebenschluss-Elektromagnet m angezogen wird. Die Schwerkraft des Rahmens r, sowie die magnetische Kraft des Elektromagnetes m, suchen den Rahmen abwärts zu drehen und damit den oberen Kohlenhalter zu senken, die Abreißfeder f wirkt diesen Kräften entgegen. In den oberen Lagen des Rahmens erscheint das Laufwerk, durch das Uebergreifen einer Zunge der Balance a über die Klinke g, gehemmt, nach einer gewissen Drehung des Rahmens nach abwärts wird das Echappement frei und das Kupferband kann sich von der Trommel

[1]) D. R. P. Nr. 42900.

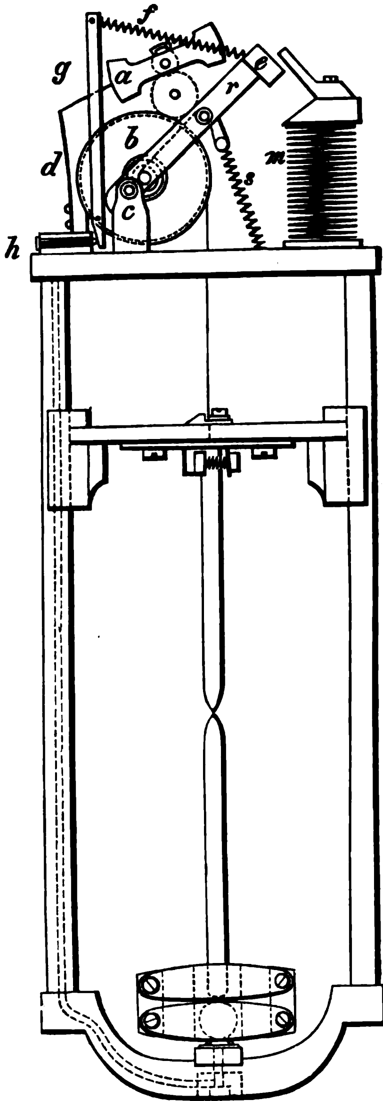


Fig. 40.

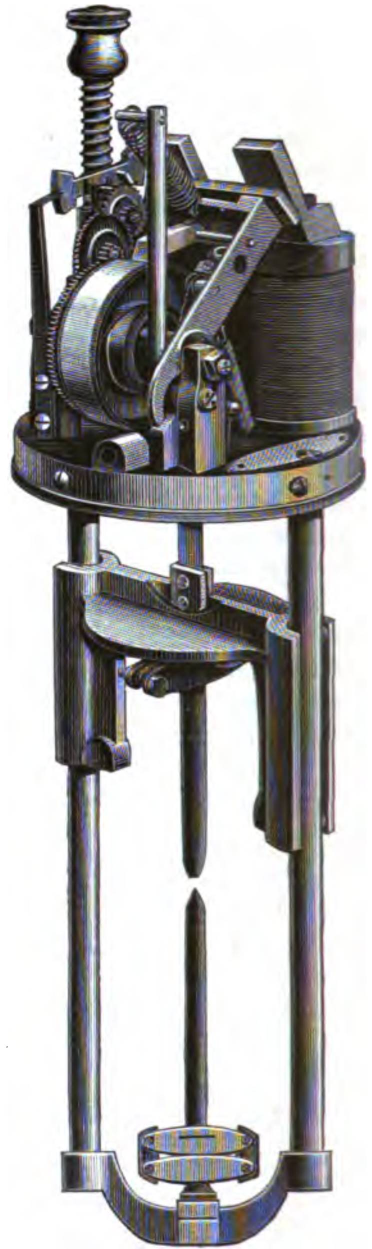


Fig. 41.

allmählich abwickeln, indem der obere Kohlenhalter vermöge seiner Schwere langsam sinkt.

Das Spiel der Lampe gestaltet sich folgend:

Nach Einschaltung der Lampe gelangt der Rahmen, infolge der starken Erregung des Elektromagnetes, in seine tiefste Stellung, das Kupferband wickelt sich von der Trommel ab, bis die obere Kohle die untere berührt. Jetzt sinkt die Spannung an den Klemmen des Elektromagnetes, die Federkraft *f* erhält das Uebergewicht, zieht den Rahmen in die Höhe, es bildet sich der Lichtbogen und das Laufwerk wird arretirt. Mit dem Größerwerden des Lichtbogens, infolge des Abbrandes der Kohlen, wächst der Magnetismus allmählich wieder an und der Rahmen gelangt nach einigen Minuten in die Lage, welche er nun dauernd einnimmt, und in welcher die kleinste Drehung nach unten ein Abpendeln der Lampe verursacht; dasselbe erfolgt in regelmäßigen, kurzen Zwischenzeiten. Das ruhige und gleichmäßige Brennen der Lampe bedingen eine Luftpumpe, sie vermeidet schnelle Bewegungen des Rahmens, eine Vorrichtung *s*, welche den, durch den Abbrand der oberen Kohle verursachten, Gewichtsverlust ausgleicht, sowie die eigenthümliche Form der Polschuhe und des Ankers.

Das Laufwerk erscheint auf einen gusseisernen Teller angeordnet und mit einer gleichfalls gusseisernen Kappe bedeckt, welche oben die Klemmen trägt. Die negative Klemme ist von der Kappe isolirt und leicht an der kleinen Porzellanbüchse zu erkennen, durch welche sie hindurchführt.

Bei den Lampen mit veränderlichen Brennpunkt bildet die untere Brücke zwischen den Führungsstangen zugleich den Kohlenhalter, der mit einem Kugelgelenk die untere Kohlenzange trägt. Der Brennpunkt sinkt, entsprechend dem Abbrand der unteren Kohle, allmählich immer tiefer herunter.

Bei den Lampen mit festen Brennpunkt ist auch der untere Kohlenhalter verschiebbar und durch zwei oben und unten über Röllchen laufende Ketten mit dem oberen Kohlenhalter gekuppelt. Beide Kohlenhalter können sich daher nur gemeinsam und in entgegengesetzten Richtungen bewegen. Die Röllchen und Ketten sind in den hohlen Führungsstangen untergebracht, welche die untere Brücke tragen. Im Uebrigen ist das Werk dieser Lampe dasselbe, wie das der Lampe mit veränderlichem Brennpunkt.

Die Kohlenzangen sind verstellbar eingerichtet. Sie können leicht zur Aufnahme von Kohlen anderer Durchmesser eingestellt werden und lassen sich an den Kohlenhaltern außerdem noch seitwärts verschieben, um ein genaues Gegenüberstellen der Mittelachsen der Kohlen

zu ermöglichen. Die untere Zange besitzt überdies ein Kugelgelenk. Die Bandlampe findet ohne Weiteres in Parallelschaltung Verwendung. Bei Gleichstrom ist bei einer Betriebsspannung von 65 Volt jede Lampe einzeln, bei 110 Volt dagegen sind je zwei Lampen hintereinander zu schalten. Die Bandlampe für Wechselstrom kann man bei 100 Volt gut zu dreien hintereinander schalten, da ihre Spannung einzeln nur 26 Volt beträgt.

Zum Betriebe von hintereinander geschalteten Lampen ist eine Nebenschlussmaschine zu benützen, da die Kohlen nur zur Berührung gelangen, wenn die Lampen zwischen ihren Klemmen eine höhere, als die normale Spannung erhalten.

Die Lampen für Gleichstrom können auch mit einer Kurzschlussvorrichtung versehen werden, die beim Versagen einer Lampe das Verlöschen der übrigen verhütet. Diese Vorrichtung besteht in der Vereinigung zweier Elektromagnete und hält die Klemmen der Lampe solange geschlossen, als der Strom nicht durch die Kohlen gehen kann, wogegen sie den Kurzschluss sofort wieder aufhebt, wenn die Kohlen einander berühren. Die Anwendung dieser Kurzschlussvorrichtung setzt voraus, dass der Lampenstrom auch beim Verlöschen mehrerer Lampen nicht zu stark anwachsen kann. Bei weniger als sechs Lampen, die hintereinander von einer konstanten Spannung gespeist werden, muss die Vorrichtung daher fortbleiben.

Das gute Arbeiten der Bandlampe hängt vor Allem von der guten Beschaffenheit des Kupferbandes und von dem Grade der Reinlichkeit ab, in dem die Lampe erhalten wird. Man fasse daher die Lampe beim Tragen stets nur an den festen Theilen an und trage sie aufrecht, so dass das Kupferband gespannt bleibt. Beim Einsetzen neuer Kohlen reinige man die Lampe mit einem Handfeger vom Staub. Der obere Kohlenhalter darf nicht, wie es vielfach geschieht, mit Gewalt in die Höhe gerissen werden, sondern er ist langsam zu heben, damit das Kupferband gespannt bleibt. Bei der Lampe mit festem Brennpunkt führe man den unteren Kohlenhalter mit gelindem Druck nach unten. Beim Herausziehen der Kohlenreste sind die Kohlenhalter festzuhalten, damit das Laufwerk nicht in Thätigkeit tritt. Die neuen Kohlen sind einander möglichst genau gegenüber zu stellen. Hierzu dient ein am unteren Kohlenhalter angebrachtes Kugelgelenk. Die obere Kohle ist endlich soweit herabzuziehen, bis sie sich mit der unteren berührt.

Bei Gleichstrom hat man besonders darauf zu achten, dass die Lampe nicht mit falschen Polen brennt, weil hierbei leicht, in Folge des stärkeren Abbrennens der positiven Kohle, der untere Kohlenhalter

zusammenschmilzt. Man erkennt eine Verwechslung der Pole leicht an der Beleuchtung der Glasglocke, sowie an der Form, welche die Kohlenspitzen annehmen. Wenn die Pole richtig sind, so brennen beide Kohlen gleich schnell ab und die obere Kohle höhlt sich an ihrem Ende aus, während die untere, negative, eine Spitze erhält. In Folge dessen bleibt der obere Theil der Glocke ziemlich dunkel, während der untere Theil scharf beleuchtet und von dem oberen, durch eine deutlich sichtbare Linie, getrennt erscheint.

Soll die Lampe für eine andere Stromstärke eingestellt werden, so sind zunächst die Kohlenzangen für die neuen Kohlen passend herzurichten, was ohne Mühe mit Hilfe eines Schraubenziehers geschehen kann. Es ist noch zu beachten, dass man eine geeignete Verschiebung der Kohlenzangen solange vornimmt, bis die Mittelachsen der neuen Kohlen in eine Gerade fallen. Sodann wird die Lampe auf die neue Spannung einregulirt. Dies geschieht lediglich durch das Verstellen der, von Außen mit einem Schraubenzieher zugänglichen, Schraube *h*. Diese Schraube ist auch in der fertigen Lampe äußerlich ebenso zugänglich gemacht; sie befindet sich vorne an der Kappe, rechtsseitlich von der Mittellinie, etwas oberhalb einer Befestigungsschraube der Kappe. Dabei entspricht einem Rechtsdrehen eine Vergrößerung des Lichtbogens und der Spannung, einem Linksdrehen eine Verkleinerung des Lichtbogens und der Spannung. Bei dieser Einstellung wird in der Regel der Fehler gemacht, dass man die Schraube um zu große Winkel dreht. Die Drehung soll nur ganz klein sein, etwa ein Zwanzigstel Umdrehung. Nach jeder einzelnen Drehung ist zu warten, bis die Lampe, ohne Erschütterungen ausgesetzt zu sein, von selbst abpendelt. Kurz, vor dem Abpendeln erreicht die Spannung der Lampe ihren größten Wert, gleich nach dem Abpendeln ihren kleinsten Wert (die normale Spannung). Die Verstellungen der Schraube sind, bis zur Erreichung der gewünschten Spannung, zu wiederholen. Selbstverständlich hat man den Vorschaltwiderstand, der neuen Stromstärke entsprechend, einzustellen.

Die Bandlampe wird in folgenden Formen ausgeführt:

1. Für Gleichstrom.

a) Kleinste Bandlampe für Ströme von 1 bis 3 Ampère.

b) Kleine Bandlampe für Ströme von 3 bis 9 Ampère.

c) Große Bandlampe für Ströme von 10 bis 35 Ampère.

Siemens und Halske bauen diese Lampe in vier verschiedenen Längen, die bei mittleren Stromstärken den Brenndauern von 10, 13, 16 und 18 Stunden entsprechen.

2. Für Wechselstrom.

a) Kleinste Bandlampe für Ströme von 1·4 bis 1·5 Ampère (in Vorbereitung.)

b) Kleine Bandlampe für Ströme von 3 bis 16 Ampère.

c) Große Bandlampe für Ströme von 17 bis 35 Ampère.

Diese Lampe wird in drei Längen ausgeführt die, bei mittleren Stromstärken, den Brenndauern von 7, 9 und 12·5 Stunden entsprechen.

3. Mit Vorrichtung für festen Brennpunkt für Gleichstrom oder Wechselstrom, als kleine und große Bandlampe.

Die Stärke einer Lampe wird am besten nach der Stromstärke angegeben, da die Lichtstärke, unter verschiedenen Winkeln gegen die Horizontale gemessen, eine sehr verschiedene ist (Seite 64, § 48).

Bei Gleichstrom wird das Licht fast nur nach unten, und zwar in größter Stärke unter einem Winkel von etwa 40° gegen die Horizontale, ausgestrahlt; bei Wechselstrom wird ebensoviel Licht in geneigter Richtung nach oben, wie nach unten, aber ziemlich wenig in horizontaler Richtung geworfen. Hier empfiehlt sich daher in der Regel die Anwendung eines Reflektors.

An Normalkerzenstärke rechnen Siemens und Halske bei Lampen mittlerer Stärke überschlagsweise für je 1 Ampère

100 *N K.* bei Gleichstrom und
60 „ „ Wechselstrom.

Dafür bedarf der Lichtbogen im Mittel eine Spannung von

40 Volt bei Gleichstrom und
26 „ „ Wechselstrom.

In der kleinsten Bandlampe ist es gelungen, eine Lampe für sehr schwaches Bogenlicht herzustellen. Sie hat, sammt Vorschaltwiderstand, bei einer Stromstärke von einem Ampère, etwa denselben Energieverbrauch und dieselbe Kerzenstärke, wie eine 16-kerzige Glühlampe. Mit 1·5 bis 2 Ampère Stromverbrauch erscheint diese Lampe für sehr viele Zwecke vorzüglich geeignet.

Damit eine Wechselstromlampe ein ruhiges Licht liefert, muss der Wechselstrom eine genügende Anzahl Wechsel besitzen. Als die Grenze für ruhiges Licht gilt bei jeder beliebigen Lampenkonstruktion eine Wechselzahl von 50 ganzen Wechseln in der Sekunde, entsprechend 6000 Polwechseln der Maschine in der Minute. Unterhalb dieser Wechselzahl erzeugt Wechselstrom stets ein flimmerndes Licht, wie auch der Lampenmechanismus beschaffen sein mag.

Die Bandlampe zeichnet sich durch den Fortfall des Hauptstromelektromagnetes aus, der bei den meisten Nebenschlusslampen zur Bildung eines Lichtbogens nöthig war. Die Lampe kann deshalb, weil

eine bestimmte Stromstärke zur Bethätigung des Hauptstrommagnetes nicht erforderlich ist, auf beliebige Stromstärken eingestellt werden. Ihren Namen führt die Lampe nach dem Kupferbande, das den oberen Kohlenhalter trägt und diesem den Strom zuführt.

3. Die Nebenschlusslampe von B. Egger & Co., Fig. 42, stellt eine einfachste Bogenlampe, welche eine Theilung des elektrischen Lichtes durch einen mechanischen Regulator erreicht, dar.

Der Hauptstrom fließt von der positiven Klemme durch die Kohlen und den Hauptmagnet H, zur negativen Klemme. Im Nebenschlusse zu diesem Stromwege befindet sich die Nebenschlussspule N. Sobald der Strom die Lampe durchfließt, wird der Anker des Hauptmagnetes A_1 angezogen und der Lichtbogen gebildet; die Länge des letzteren hängt von der Größe des Abstandes zwischen den Polen des Elektromagnetes H und dem Anker A_1 ab. Der Nebenschlussmagnet erhält bei zu langem Lichtbogen mehr Strom, da jetzt der Widerstand des Lichtbogens und somit die Spannung an den Klemmen der Lampe größer werden, zieht seinen Anker A_2 an und unterbricht den Nebenschlussstrom. Eine Feder F_1 bringt den Anker A_2 in seine ursprüngliche Lage zurück, so dass der Stromkreis wieder geschlossen ist und das Spiel zwischen dem Anker A_2 und dem Pole P_1 von Neuem beginnt. Durch die so entstehende, hin- und hergehende Bewegung werden das Zahnrad Z und die damit fest verbundene Leitspindel bewegt; die letztere ist in der hohlen Säule R

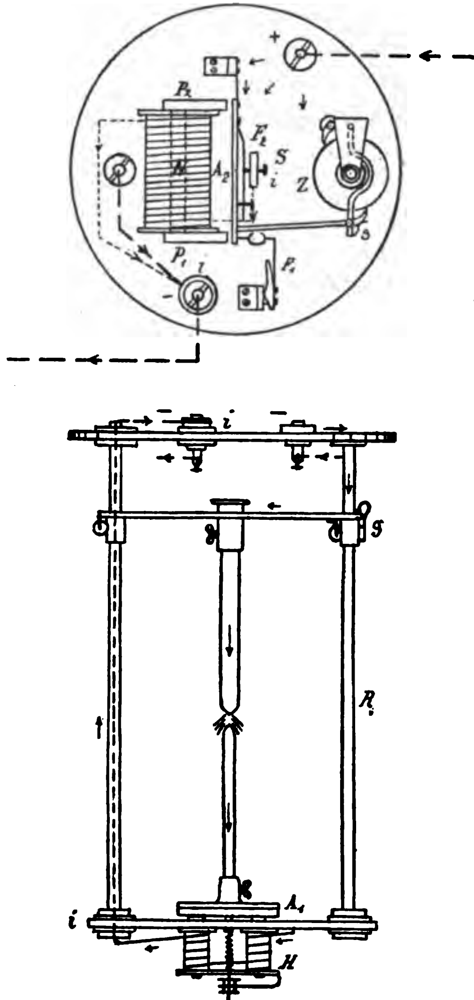


Fig. 42.

gelagert und greift in das Muttergewinde *G* des oberen Kohlenträgers ein. Beim Einsetzen der Kohlen wird das Muttergewinde, von Hand aus, von der Schraubenspindel abgehoben und der obere Kohlenhalter hinaufgeschoben. Der Anker A_2 darf mit den Polen des Elektromagnetes *N*, der freien Beweglichkeit halber, nicht in Berührung treten; zur Erzielung dieser freien Bewegung des Ankers A_2 ist es erforderlich, dass die Pole des Magnetes *N* mit unmagnetischen (Kupfer-, Pressspan- u. s. w.) Stiften versehen sind, welche etwa 0·5 *mm* aus den Polen hervorragen.

Die Lampe regulirt bei genauer mechanischer Ausführung bei verschiedenen Spannungen (35 bis 50 Volt), unter den folgenden Bedingungen, zufriedenstellend:

1. Der Lichtbogen muss die der Spannung entsprechende Länge haben.

2. Der Hub des Ankers A_2, begrenzt durch die Schraube *S* und den Pol P_1, ist durch die Feder F_1 so einzustellen, dass der Sperrkegel s, bei einem Hin- und Hergange des Ankers A_2, nur einen Zahn des Rades *Z* nimmt.

3. Beim Anliegen des Ankers A_2 an den Stiften des Poles P_1 soll der Kontakt zwischen der Feder F_2 und der Schraube *S* gerade gelöst sein (der Abstand derselben etwa 0·5 *mm* betragen).

Diese Einstellungen müssen schon ohne Strom vorgenommen werden. Mit Strom ist weiters nur die Einregulirung auf eine bestimmte Spannung mittelst eines, an die Klemmen der Lampe angeschlossenen, Voltmessers zu besorgen. Je nachdem die Feder F_1 stärker angespannt oder nachgelassen wird, regulirt die Lampe bei höherer oder niederer Spannung.

Mit einem Kontaktmagnete versehen, welcher anstatt der Lampe einen, dem Widerstande derselben entsprechenden, Ersatzwiderstand automatisch einschaltet, hat sich die Lampe auch für Hintereinanderschaltung bewährt.

Diese Lampen werden in verschiedenen Größen für 3 bis 20 Ampère gebaut und haben einen niedrigsten Oberbau.

3. Die Lampe für Parallelschaltung von Piette-Křižik hat den, aus der Fig. 43 ersichtlichen, Stromverlauf. Der Strom fließt von der positiven Klemme zum oberen Kohlenhalter, durch die obere und untere Kohle, durch die Hauptspule *H* zur negativen Klemme, der Nebenstrom von der positiven Klemme durch die Nebenschlussspule zur negativen Klemme.

Sind beim Einschalten der Lampe die Kohlen von einander entfernt, so zieht die Nebenspule den Kern K_1 an und bringt die Kohlen miteinander in Verbindung. Dadurch ist der Hauptstromweg geschlossen:

sodann wird, durch das Anziehen des Kernes K_2, von der Hauptspule H der Lichtbogen gebildet und, durch die gegenseitige Wirkung der Spulen H und N, gleich lang erhalten.

Es ist besonders darauf zu achten, dass sich die Gleitrollen R_1, R_2, R_3 und R_4 nicht reiben.

Ist die Schnurlänge richtig und der Lichtbogen bei langen Kohlen größer, als bei kurzen, so müssen die beiden Eisenkerne in den Kohlenhalterrohren etwas in die Höhe geschoben werden; ist der Lichtbogen bei langen Kohlen kleiner, als bei kurzen, so müssen die Kerne gesenkt werden. Das Verschieben wird in diesem oder im entgegengesetzten Sinne, Beobachtungszeiten von mindestens je 10 Minuten vorausgesetzt, so oft vorgenommen, bis die Lampe bei langen und kurzen Kohlen mit gleichem, normalen Lichtbogen brennt.

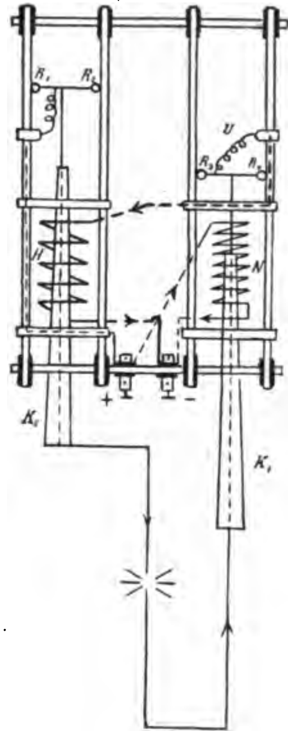


Fig. 43.

59. Differentialregulatoren. Die schematische Zeichnung in Fig. 44 stellt die wesentlich wichtigsten Bestandtheile der Differentialregulatoren und den Stromverlauf in denselben dar. Diese Lampen haben, sowie die Nebenschlusslampen, zwei Stromwege zwischen den Klemmen. Im Hauptstromkreise herrscht die Stromstärke Y, im Nebenschlusse fließt der Strom i. Der Hauptmagnet besteht aus wenigen Windungen eines dicken Drahtes (der Durchmesser des Drahtes ist nach der Stromstärke der Lampe zu berechnen), der Nebenschlussmagnet aus vielen Windungen eines dünnen Drahtes. Der wesentliche Unterschied zwischen der Nebenschluss- und der Differentiallampe ist der, dass die beiden Spulen auf denselben Eisenkern oder auf mit einander verbundene Eisenkerne einwirken. Ist der Lichtbogen zu groß, so wird der Widerstand des Hauptstrom-

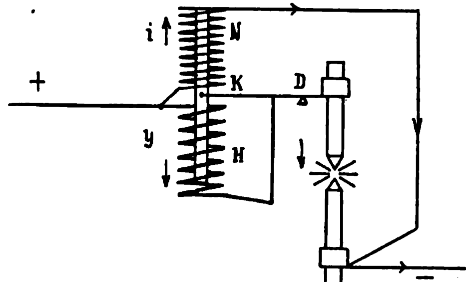


Fig. 44.

kreises größer und die Stromstärke desselben kleiner, während im Nebenschlussmagnete die Stromstärke, also auch die magnetisirende Kraft, wächst. Die magnetisirende Kraft des Nebenschlussmagnetes *N* wird deshalb überwiegen und den Eisenkern *K* nach aufwärts, sowie die obere Kohle nach abwärts bewegen. *D* stellt den Drehpunkt der gegenseitigen Bewegung zwischen Eisenkern und Kohle dar. Bei zu geringem Widerstande des Lichtbogens steigt der Hauptstrom an, die Spule *H* zieht den Eisenkern in seine Höhlung und hebt die obere Kohle bis zur Einstellung des normalen Lichtbogens. Die endgiltige Wechselwirkung der beiden Spulen *H* und *N* ist eine Differentialwirkung (Wirkung der Unterschiede magnetischer Kräfte). Die Differentialregulatoren reguliren demnach auf gleichen Widerstand des Lichtbogens.

1. Die Differentiallampe von Siemens und Halske[1]), Fig. 45 und Fig. 46, ist im Jahre 1878 von F. v. Hefner-Alteneck konstruirt und 1879, während der Dauer der Berliner Gewerbe-Ausstellung, zur Beleuchtung der Kaisergallerie, der ersten Beleuchtung mit getheiltem Bogenlicht, benutzt worden. Die Lampe enthält eine untere Spule aus dickem Drahte, die Hauptstromspule, welche von dem durch die Kohlen gehenden Strom durchflossen wird, und eine obere Nebenschlussspule, welche mit feinem Draht bewickelt erscheint und direkt an die beiden Klemmen der Lampe anschließt. Letztere durchfließt ein schwacher Strom, welcher der Spannung zwischen den Klemmen proportional ist, also mit dieser stärker oder geringer wird. Jede der beiden Spulen sucht einen und denselben Eisenkern in sich hineinzuziehen, sodass auf diesen die Differenz ihrer Wirkungen zur Geltung kommt; sie führt deshalb den Namen Differentiallampe. Ein Hebel trägt einerseits den Eisenkern, andererseits den, als Zahnstange gestalteten, oberen Kohlenhalter, der mit ihm derart durch eine Kuppelung verbunden ist, dass diese bei der höchsten Stellung des Eisenkernes gelöst wird und der obere Kohlenhalter infolge seines Gewichtes sich gegen den unteren bewegt. Die Bewegung verlangsamt ein Echappement mit Pendel, welches aus Fig. 45 ersehen werden kann.

Das Spiel der Lampe ist nun folgendes: Der obere Kohlenhalter hebt durch sein Gewicht den Eisenkern in die Höhe, löst das Echappement aus und die obere Kohle fällt soweit herunter, dass sie die untere berührt. Wird nun Strom durch die Lampe geschickt,

---

[1]) H. Görges und K. Zickler, Die Elektrotechnik in ihrer Anwendung auf das Bauwesen.

so zieht die Hauptstromspule den Kern nach unten und hebt die obere Kohle, sodass sich ein Lichtbogen bildet. Mit der Größe desselben nimmt aber gleichzeitig die Spannung zwischen den beiden Kohlen und mithin der Strom und die Anziehungskraft der Nebenspule zu, bis ein Punkt erreicht ist, wo die Anziehungskräfte der beiden Spulen auf den Eisenkern gleich groß sind und der Mechanismus zum Stillstande kommt. Wächst der Lichtbogen wieder durch das Abbrennen der Kohlen, so nimmt auch die Spannung wieder zu, die Nebenschlussspule zieht somit den Kern höher und höher, bis das Echappement ausgelöst wird und die obere Kohle etwas herabfällt, indem das Pendel eine halbe Schwingung ausführt. Von da an spielt der Mechanismus in

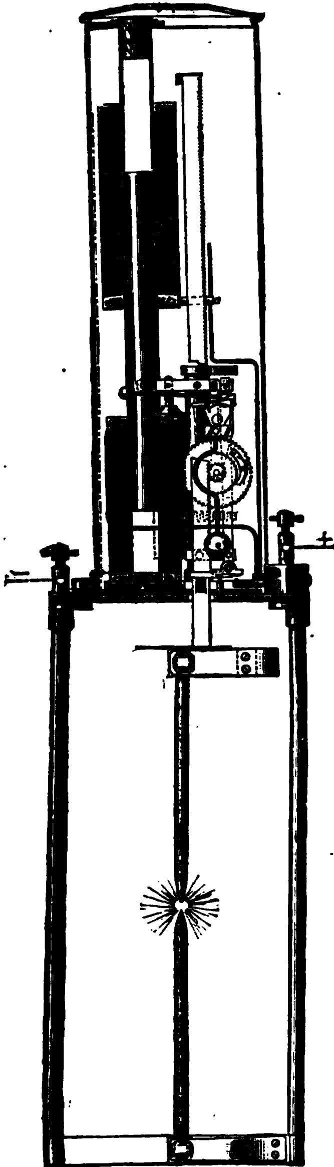


Fig. 45.

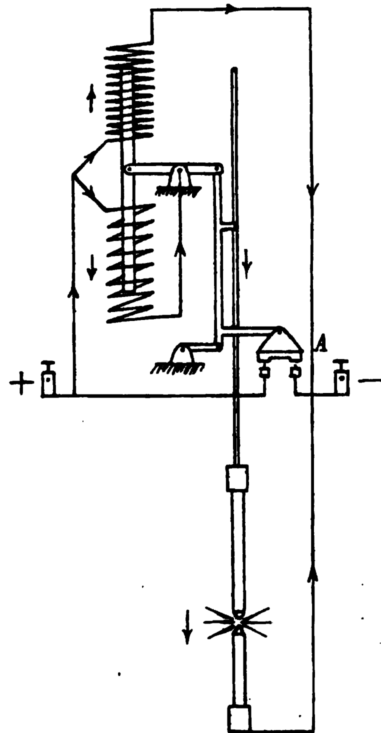


Fig. 46.

dieser Grenzlage, was man durch die kurzen Bewegungen des Pendels, in ganz regelmäßigen Zwischenzeiten, erkennt. Sind die Kohlenstäbe zu Ende gebrannt, so schaltet sich die Lampe selbstthätig aus, indem sie den Kontakt *A* schließt. Es können daher die übrigen, in den Stromkreis eingeschalteten, Lampen ungestört weiter brennen. Bei Parallelschaltung der Lampen fällt die Kurzschlussvorrichtung fort.

Die Lampe regulirt, sowie alle Differentiallampen, auf konstanten Lichtbogenwiderstand. Die Einstellung der Lampe auf denselben erfolgt sehr einfach durch Höher- oder Tieferschieben der oberen Spule, da ihre Einwirkung auf den Eisenkern von der Tiefe seines Hineinragens in sie abhängt.

Neben der ersten Benützung des richtigen Wesens der Regulirung sind es noch einige weitere Verbesserungen des Lampenmechanismus, welche dieser Lampe einen so großen Erfolg verschafft haben. Während früher die Lampen so angeordnet wurden, dass sich die Kohlen über dem Mechanismus befanden, findet hier das Umgekehrte statt. Es wird dadurch eine fast schattenlose Lichtwirkung nach unten erzielt; daher ist diese Anordnung fast ausschließlich verwendet worden. Da es ferner für allgemeine Beleuchtungszwecke nicht auf einen örtlich konstanten Brennpunkt ankommt, so wurde zu Gunsten der Einfachheit die untere Kohle festgestellt und nur die obere beweglich gemacht, derart, dass der Kontakt für den Stromübergang auf die Zahnstange mit starkem Druck und starker Reibung stattfinden kann, ohne die zarten Regulirungsbewegungen zu behindern. Endlich gehören noch hierher die Verwendung des obengenannten Ausschlusskontaktes und eine Luftbremse zur Dämpfung heftiger Bewegungen.

Die Lampen werden gleich gut für Gleich-, wie für Wechselstrom verwendet, sie unterscheiden sich dann nur durch die Bewickelung der Spulen und die Längen der zu verwendenden Kohlen von einander.

2. Die Differentiallampe von B. Egger & Co., Fig. 47, hat folgenden Stromverlauf:

1. Der den Lichtbogen durchfließende Haupttheil des gesammten Strommes führt von der positiven Klemme durch die Windungen des Kontaktmagnetes *M*, die Hauptspule *H* und tritt bei *S* an das Werk der Lampe. Von der Zahnstange, welche die obere Kohle trägt, geht der Strom durch die obere Kohle, den Lichtbogen und die untere Kohle zur negativen Klemme der Lampe.

2. Ein zweiter, von den Widerstandsverhältnissen abhängiger, verschwindend kleiner Theil des Gesammtstromes fließt durch die Nebenschlussspule *N*.

3. Im Falle des Versagens der Lampe wird der Hauptstromkreis durch einen dritten Stromweg geschlossen erhalten, welcher auch vor dem Entzünden der Lampe den Strom weiter führt. Liegt der Anker *A* des Kontaktmagnetes an der Schraube *s*, so fließt der Strom von der positiven Klemme durch die Spule *C*, den Widerstand *W* und geht,

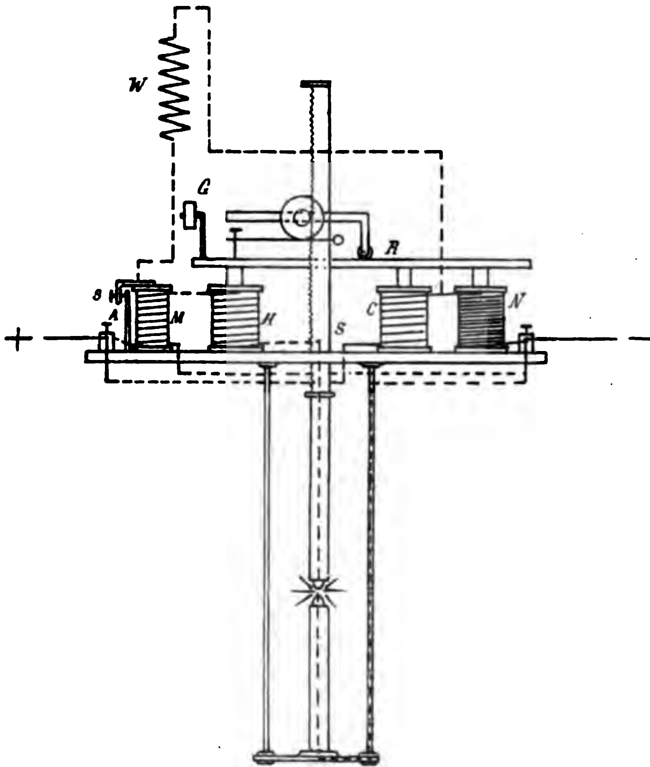


Fig. 47.

mittelst einer Kontaktschraube, in die Masse des isolirten Magnetkörpers *M* zur negativen Klemme.

Die Thätigkeit der Lampe ist in den folgenden drei Punkten klargelegt:

a) Bevor sich die Kohlen berühren, fließt der Strom auf dem oben unter 3 bezeichneten Wege, die Spule *C* zieht ihren Anker an, hebt einen Rahmen und löst die Sperrung des Zackenrades und damit des Laufwerkes aus, wodurch die obere Kohle allmählich herabsinkt.

b) Im Augenblicke der Berührung der Kohlen geht Strom durch den Weg 1, der Kontaktmagnet wird magnetisch erregt, und zieht

den Anker an; dadurch erscheint der Weg 3 unterbrochen und der ganze Strom geht durch die Kohle. Gleichzeitig wird durch die Hauptspule *H* der Rahmen gegen dieselbe gesenkt, die Zahnstange um einige wenige Millimeter gehoben und der Lichtbogen gebildet.

c) Die Nebenspule *N* im zweiten Stromwege hat den Zweck, den sich, infolge des Abbrennens der Kohlenspitzen, vergrößernden Abstand derselben durch stärkeres Anziehen, des in sie tauchenden Eisenkernes, zu verringern, den Rahmen zu bewegen und die Sperrung des Laufwerkes aufzuheben. Durch diesen Vorgang regulirt die obere Kohle solange nach abwärts, bis der normale Lichtbogen eingestellt ist. Bei normalen Lichtbogen vermindert sich die Wirkung der Nebenspule *N*, während die Wirkung der Hauptspule *H* das Laufwerk zum Stehen bringt. Dieses Spiel der beiden Spulen *H* und *N* wird durch das Gewicht *G*, welches verstellbar ist, beeinflusst, und mit ihm die Lichtbogenlänge genau regulirt. Das Hineinschrauben des Gewichtes *G* bewirkt eine Verstärkung der Spule *N*, somit eine Verkürzung des Lichtbogens, das Herausschrauben die Verstärkung der Spulenwirkung von *H*, die Verzögerung des Nachregulirens der Lampe und die Vergrößerung des Lichtbogens.

Diese Lampen haben sich in den verschiedenen Größen von 3 bis 20 Ampère vortheilhaft bewährt.

Die richtige Einstellung der Lampe umfasst folgende Punkte:

1. Der Abstand zwischen den Platinkontakten beträgt 1 *mm*. (Die Platinkontakte befinden sich an der Schraube *s* und an dem Anker *A* des Kontaktmagnetes *M*).

2. Der Rahmen *R* nimmt eine horizontale Lage ein.

3. Bei der richtigen Einstellung des Rahmens *R* ist das Laufwerk gerade noch gesperrt.

4. Ein geringer Hub des Rahmens, damit die Lampe sehr oft, also schon bei geringen Aenderungen der Stromstärke, regulire.

Die unter 1 bis 4 verlangten Einstellungen werden mittelst Schrauben besorgt.

Die häufigsten, in Beleuchtungsanlagen an diesen Lampen vorkommenden Fehler sind:

1. Die Platinkontakte sind unrein, dann ist der Stromweg unter 3., unterbrochen.

2. Das Gewicht *G* wurde verschoben und die Lampe regulirt bei zu großem oder zu kleinem Lichtbogen.

3. Die Zahnstange ist fehlerhaft, verrostet oder verstaubt.

4. Die Eisenkerne streifen in den Spulen, wenn dieselben verrostet oder die Befestigungsschrauben derselben gelockert sind.

5. Schluss in einer Spule oder zwischen ungleichpoligen Theilen der Lampe.

6. Unterbrechung in einer Spule oder auf einem Stromwege.

Zu dem Punkte 1. sei bemerkt, dass die Platinkontakte von Zeit zu Zeit mit Papier oder feinstem Schmirgelpapiere gereinigt werden müssen.

Die Behebung sämmtlicher Fehler ist äußerst sorgfältig vorzunehmen.

Die Nebenschluss- und Differentiallampen von B. Egger & Co. werden für 4 bis 20stündige Brenndauer gebaut und reguliren schon bei Spannungsdifferenzen von 0·1 Volt. Die Aenderungen in der Lichtbogenlänge sind unmerklich.

3. Die Differentiallampe Piette-Křižik für Hintereinanderschaltung. Die beiden Spulen dieser, in Fig. 48 dargestellten, Lampe *sind* nebeneinander angeordnet und die, in dieselben hineinreichenden, Eisenkerne K_1 und K_2 durch eine Schnur, welche über eine, in der Figur nicht ersichtliche, Rolle führt, beweglich verbunden. Um eine gleichmäßige Anziehung der Eisenkerne zu ermöglichen, werden dieselben konisch geformt und verstellbar eingerichtet.

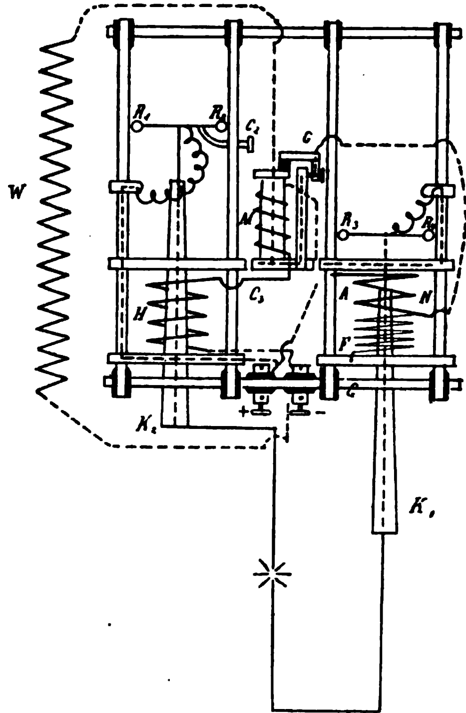


Fig. 48.

Die vier Stromwege in dieser Lampe sind in der Figur durch stärker (Hauptstrom) und schwächer gezeichnete, gestrichelte Linien (Nebenstrom) dargestellt.

1. Stromweg. Von der positiven Klemme durch die dicken Windungen der Nebenschlussspule N zu dem Kontakte C, durch den Widerstand W zum negativen Pole.

2. Stromweg. Vom positiven Pole durch die dicken Windungen der Nebenschlussspule N, durch die dünnen Windungen F der letzteren Spule (die dünnen Windungen sind an die dicken angeschlossen), in

das Gestell der Lampe, bei *G* zum unteren Kohlenhalter (zur Führungsstange desselben).

3. Stromweg. Von der positiven Klemme durch die Kohlen, die Windungen des Elektromagnetes (Kontaktmagnetes) *M*, die Hauptspule *H* zur negativen Klemme.

4. Stromweg. Von der positiven Klemme durch die Kontakte C_2 und C_3, das Gestell des Kontaktmagnetes *M*, die Neusilberspirale *W* zur negativen Klemme.

Die Thätigkeit der Lampe ist nachfolgend übersichtlich wiedergegeben:

Vor dem Aufsitzen der Kohlen fließt der Strom auf dem Wege 1, die Spule *N* zieht den Kern K_1 an und bringt die Kohlenspitzen zur Berührung, wodurch der dritte Stromweg geschlossen erscheint. Der Kontaktmagnet *C* zieht seinen Anker an und unterbricht den 1. Stromweg. Der Lichtbogen erscheint somit gebildet und wird, da jetzt auch der Stromweg 2, eingeschaltet ist, durch die gegenseitige Wirkung der Spulen *H* und *N* gleich lang erhalten. Mit dem Abbrennen der Kohlen bis zur zulässigen Grenze berühren sich die Kontakte C_2 und C_3 und der Strom fließt auf dem, unter 4. bezeichnetem, Wege.

In Deutschland und Oesterreich-Ungarn sind weiters häufig in Verwendung die Lampen von R. J. Gülcher in Bielitz-Biala, Kremenezky, Mayer & Co., Gramme, Scharnweber, Weston, Möhring, Naglo, Schiebeck & Plentz, Schwartzkopff in Berlin, Helios, die Kettenbogenlampe der allgemeinen Elektricitätsgesellschaft, Hempel in Dresden, Brush, Pieper, Schwerdt, O. L. Kummer & Co. in Dresden, Ganz & Co. und Anderen.

60. Bemerkungen. Gegen Witterungseinflüsse, Staub u. s. w., pflegt man den Mechanismus der Lampen durch Gehäuse zu schützen.

Zur Vermeidung des Herabfallens glühender Kohlentheilchen, des Ausblasens des Lichtes im Freien, sowie zur Dämpfung zu grellen Lichtes, dienen Glaskugeln, welche jedoch die Stärke des Lichtes schwächen. Die durch Glaskugeln herbeigeführten Verlustpercente betragen:[1])

Durchsichtige Kugel	47%,
Matte Kugel	77%,
Opalkugel	81%.

---

[1]) J. D. Guthrie und F. E. Reidhead, Elektrotechnische Zeitschrift, Berlin, 1894, Seite 240.

Die Verluste ändern sich mit der Dicke und den sonstigen Abmessungen der Kugeln.

Zur Dämpfung des zu grellen Lichtes, bei geringerem Lichtverluste, eignet sich besonders das sogenannte dioptische Glas von Brähmer in Berlin.

Die Erwärmung der Lampen ist, selbst bei guter Lüftung, nicht gänzlich zu vermeiden und es dürfen deshalb die beweglichen Theile des Mechanismusses nicht zu stramm in einander greifen. Besondere Vorsicht ist bei Lampen, die möglichst luftdicht verschlossen sind (z. B. Lampen in Färbereien), anzuwenden; dieselben müssen, bezüglich der Erwärmung der sorgfältigsten Prüfung unterzogen werden. Die genaue Einstellung, der Lampen auf bestimmte Stromverhältnisse darf erst erfolgen, wenn die Erwärmung der Spulen den gegebenen Betriebsverhältnissen entspricht.

Bei Lampen mit Platinkontakten sind die Letzteren von Zeit zu Zeit zu reinigen, da dieselben durch Kontaktfunken oxydiren, verbrennen und dadurch Unterbrechung herbeiführen. Das Reinigen der Platinkontakte geschieht mittelst feinstem Schmirgelpapier.

Der vom Strome durchflossene Lampenkörper muss vollständig von der Erde isolirt sein.

Beim Einsetzen der Kohlen sind die Halter derselben von einander (oder der obere Kohlenhalter von dem unteren) äußerst vorsichtig und ohne Gewalt anzuwenden, auseinander zu schieben (von einander zu trennen).

Es ist besonders darauf zu achten, dass die Kohlenspitzen sowohl bei neu eingesetzten, als auch bei schon gebrauchten Kohlen, konisch geformt sind und genau über einander stehen, weil sonst ein seitliches Abbrennen derselben und ein Flackern des Lichtes eintreten.

Die Spitzen der neu eingesetzten Kohlen müssen sich mindestens 3 *mm* auseinander ziehen lassen.

Bei jedem Neueinsetzen von Kohlen sollen die Kohlenhalter und die aus dem Gehäuse hervorragenden Theile gereinigt werden.

Der Lampenmechanismus muss zeitweise einer Prüfung und Reinigung unterzogen werden. Der Staub ist mittelst eines Pinsels zu entfernen. Zum Reinigen der Führungen und Metalltheile verwendet man einen reinen, mit Benzin befeuchteten, Lappen. Sämmtliche Theile des Mechanismusses sind in Bezug auf ihre Beschaffenheit, richtige Einstellung u. s. w. zu prüfen.

61. Fehlerbestimmungen an Bogenlampen. Die Ursachen der unregelmäßigen Thätigkeit oder des gänzlichen Versagens einer Bogenlampe sind:

1. Die Spannung an der Betriebsdynamomaschine ist zu niedrig. Aeußerlich sichtbar wird dieser Fehler durch das Zucken des Lichtbogens, äußerlich hörbar durch das, mit dem Zucken verbundene, klappernde Geräusch. Je niedriger die Betriebsspannung ist, desto stärker zuckt die Lampe und versagt endlich gänzlich.

2. Die Kohle enthält Silikate und Erden oder ist ungleich dicht. In diesem Falle wird der Lichtbogen unruhig und bildet sich an verschiedenen Stellen zwischen den Kohlen. Dieser Fehler zeigt, außer der Beobachtung des Lichtbogens, ein, an die Pole der Lampe angeschlossener, Voltmesser. Schwanken die Angaben des Voltmessers nur um einige wenige Volt, so ist entweder der Gang des Antriebsmotors ungleichmäßig oder es findet ein Schleifen des Riemens statt, schwanken die Angaben des Voltmessers innerhalb sehr weiter Grenzen (10, 20 und mehr Volt), so ist die Kohle schlecht. Häufig genügt schon ein Abbrechen und Neuformen der Kohlenspitzen zur Behebung dieses Fehlers.

3. Ein Stromweg, eine Spule oder ungleichpolige Theile der Lampe haben Schluss. Befindet sich der Schluss in einer Spule, so zeigt sich derselbe häufig schon durch das Verbrennen der Isolation an, sind nur einige Windungen oder Lagen kurzgeschlossen, so kann man diese entweder, bei dickdrahtigen Spulen, an der verbrannten Isolation oder, bei dünndrahtigen Spulen, an der verbrannten Isolation oder an dem geringen Widerstande der Spule erkennen. Den Schluss zwischen zwei ungleichpoligen Theilen der Lampe findet man, falls die Lampe von dem Strome durchflossen ist, schon durch einen Draht, den man an den beiden Enden mit den zu untersuchenden Theilen in augenblickliche Berührung bringt. Geht Strom durch den Probedraht, so ist die Isolation gut, im entgegengesetzten Falle schlecht. Im stromlosen Zustande kann man die Untersuchungen mit einem Galvanometer, einem Induktionsapparate u. s. w., vornehmen.

4. Die Unterbrechung eines Stromweges. Sind die Windungen einer Spule unterbrochen, so findet man den Fehler im stromdurchflossenen Zustande durch die Untersuchung der Erwärmung der Spule. Da die Spulen nie so stark bemessen werden, dass sie bei normaler Beanspruchung gar keine Erwärmung zeigen, kann man annehmen, dass die Spule unterbrochen ist, wenn dieselbe kalt bleibt. Im stromlosen Zustande findet man die Unterbrechung einer Spule mittelst des Induktionsapparates, Läutewerkes, Universalgalvanometers u. s. w. Unterbrechungen können auch an Verbindungsstellen (bei Klemmen- und Schraubenverbindungen, Löthstellen u. s. w.) eintreten, oder es kann eine Verbindungsstelle, durch mangelhaften Kontakt, Ursache eines

zu hohen Widerstandes des Stromkreises oder der Unterbrechung desselben sein.

Für den Gang der Untersuchung der Lampen auf Schluss und Unterbrechung sind die Grundschemen derselben, Fig. 33, Fig. 36 und Fig. 37, maßgebend; diese Untersuchungen erfolgen ganz in derselben Weise, wie die gleichen Untersuchungen bei den dynamoelektrischen Maschinen (I. Seite 187 ff.) und sämmtlichen elektrotechnischen Apparaten und Instrumenten.

5. Die Unterbrechung oder der Schluss in der Leitung zur Lampe oder in dem Vorschaltwiderstande derselben. Es sei hier ganz besonders hervorgehoben, dass man beim Versagen einer Lampe oder dem schlechten Brennen derselben, in den meisten Fällen den Fehler der Lampe selbst zuschreibt und an der Lampe verschiedene Verstellungen vornimmt, welche häufig zu weitgehenden Reparaturen Veranlassung geben, während der Fehler in den Leitungen oder dem Vorschaltwiderstande liegt. Bei gründlicher Prüfung einer Bogenlampe muss dieselbe aus dem Leitungsnetze ausgeschaltet und mit Strom untersucht werden. Es sei besonders erwähnt, dass es also ganz verwerflich ist, wenn bei der Untersuchung einer sorgfältig geprüften Lampe der Fehler, ohne weitere Prüfungen in den Leitungen oder in dem Vorschaltwiderstande, in der ersteren allein gesucht wird.

Arbeitet die Lampe bei normaler Betriebsspannung gut, so liegt der Fehler in der Leitung oder in dem Vorschaltwiderstande. Die Lampe brennt entweder mit zu hoher oder zu niederer Stromstärke, je nachdem die Leitung sammt Vorschaltwiderstand einen zu kleinen oder zu großen Widerstand haben. Bei zu großem Widerstande der Leitung sammt dem Vorschaltwiderstand tritt das Zucken der Lampe ein; dann ist entweder der Widerstand der Leitung oder der Vorschaltwiderstand zu groß. Dieser Fehler liegt, falls die Leitung aus Kupferdrähten oder Kabeln besteht, gewöhnlich im Vorschaltwiderstande. Leitungen aus Eisendrähten werden oft gleichzeitig als Vorschaltwiderstand benutzt und können leicht einen zu hohen Widerstand haben. Leitungen aus Kupferdrähten haben in der Regel einen so kleinen Widerstand, dass sie die Thätigkeit der Lampe nicht beeinflussen können; ausgenommen sind die Fälle der theilweisen oder gänzlichen Unterbrechung der Leitung, welche mit dem Zucken der Lampe oder dem Versagen derselben verbunden sind.

Erhält die Lampe bei normaler Betriebsspannung zu viel Strom, so muss derselben solange Widerstand vorgeschaltet werden, bis sich die normale Stromstärke einstellt.

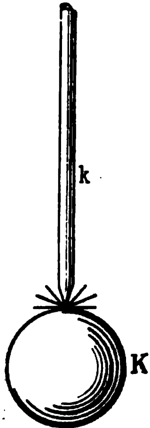


Fig. 49.

62. Die Halb-Glühlampen. Harrison verwendete zur Erzeugung des elektrischen Lichtes ein dünnes Kohlenstäbchen *k*, Fig 49, welches gegen eine größere Kohlenfläche *K* gedrückt wurde. Durchfloss den so entstandenen, unvollkommenen Kontakt ein elektrischer Strom, so erglühte derselbe und sandte leuchtende Strahlen aus. Weitere Lampen dieser Art, welche ein Zwischenglied der elektrischen Bogen- und Glühlampen bilden, stammen von Emile Regnier, Werdermann, Marcus und Anderen.

III. Kapitel.

Die Glühlampen.

63. Geschichtliche Daten. Die erste Glühlampe erfand R. J. Grove (1840, Veröffentlichung 1845). Die erste Glühlampe mit Kohlenbrenner im luftleeren Raume (Vacuum) stammt von J. W. Starr (1845). Nach diesen Erfindern sind zu nennen: S. Maxim (1877, Platinlampe), W. E. Sawyer und Albon Man (1878, Lampe mit hartem Kohlenbrenner). Edison gelang es im Jahre 1879 die erste brauchbare Lampe mit verkohltem Papierbrenner herzustellen. Die Erfolge mittelst Glühlicht, in Paris (1881) und New-York (1882), gaben Anlass zu dem Aufschwunge der modernen Elektrotechnik und zum Baue von großen dynamoelektrischen Maschinen bis zu einer Leistung von 5000 Pferdekräften.[1])

64. Die Fabrikation der Glühlampen. Das Material der Glühlampenfäden bilden zumeist verkohlte Pflanzenfasern. Die Brushcompagnie in London verwendet nitrirte Pflanzenfasern, de Khotinsky, Gelatine oder Collodium, die Swan-Company Baumwollfäden. Weiters werden Fasern von Gräsern, Manilla, Hanf, Flachs, Papier, Bambus, Indiafaser, Piassawa, Kittul u. s. w. angewendet. Die Pflanzenfaser muss sich im guten, trockenen Zustande befinden. Für Glühlampen von hohen Normalkerzen verwendet man ähnliche Materialien, wie für die Kohlen der Bogenlampen. Die Faser wird in diejenige Form gebracht, welche der Kohlenbügel erhalten soll; dies geschieht dadurch, dass man dieselbe über Formen aus Kohle oder Thon wickelt, diese Formen in feuerfeste Tiegel bringt, jede Lage Fäden mit

[1]) Elektrotechnische Zeitschrift, Berlin, 1894, Seite 248.

Kohlenstaub oder Graphit bedeckt, luftdicht verschließt und in Glühöfen etwa 5 Stunden der Glühhitze aussetzt. Die Temperatur im Glühofen muss gleichmäßig sein und rund 1000 bis 1200° *C* betragen. Die durch diesen Vorgang, innere Verkohlung (Karbonisirung) genannt, erzeugten Kohlenbügel haben einen zu großen Widerstand, sind zu porös und besitzen keine genügende Festigkeit. Durch ein weiteres Verfahren, die äußere Verkohlung, wird auf diesen Kohlenbügeln Kohlenstoff von außen niedergeschlagen. Man bringt die Kohlenbügel entweder in flüssige oder gasförmige Kohlenwasserstoffe (Petroleum, Benzin, Leuchtgas u. s. w.) und leitet Strom durch dieselben; die Kohlenfäden werden glühend, die Kohlenwasserstoffe zersetzt und der Kohlenstoff an den Kohlenfäden von außen niedergeschlagen. Da die porösen Kohlenfäden einen sehr hohen Widerstand haben (einige 1000 Ohm), sind dieselben sehr schwer zum Glühen zu bringen. Schließt man die Dynamomaschine bei eingeschaltetem Kohlenfaden einen Augenblick kurz, so erfolgt das Glühen und eine sehr bedeutende Widerstandsverminderung desselben. Durch die äußere Verkohlung werden die Kohlenfäden auch gleichmäßig dick, da dort, wo der Kohlenfaden dünner ist, ein stärkeres Glühen und Niederschlagen von Kohlenstoff stattfindet. Werden flüssige Kohlenwasserstoffe angewendet, so muss man, in dem Augenblicke des Aufleuchtens des Kohlenbügels, Widerstand in den Stromkreis einschalten, da sonst eine zu starke Erhitzung derselben platzgreift.

Als Zuleitung für den Kohlenbügel benützt man Platin, weil sich dasselbe beinahe ebenso ausdehnt, wie Glas (insbesondere Bleiglas). Bei Anwendung eines anderen Materiales kann das Glas bei der Erwärmung der Kontaktstelle, zwischen der Zuleitung und dem Glase, durch die ungleichmäßige Ausdehnung brechen und Luft in die Lampe eindringen. Edison befestigte seine Fäden dadurch, dass er dieselben an den Enden verbreiterte, zwischen, an den Enden flachen, Kupferdrähten einklemmte und an diesen Verbindungsstellen, auf galvanischem Wege, Kupfer niederschlug. Da diese Verbindungsstellen Luft enthielten, verstärkte man die Fäden an den Enden durch Aufschlagen von Kohlenstoff, umschloss dieselben mit röhrenförmig gestalteten Platindrahtenden und versah dieselben mit einem Kohlenstoffniederschlage. Eine sehr einfache Befestigung des Kohlenfadens erfolgt durch einen feucht aufzutragenden Kitt. Der Kitt besteht hauptsächlich aus Kohlenstoff und einem Bindemittel (z. B. Zucker). Man nennt diesen Vorgang der Befestigung der Kohlenfäden das Aufsetzen der Fäden auf die Lampenfüße. Die fertigen Kohlenfäden werden mit den Platindrähten in einen Ballon (Birne) eingeschmolzen. An

diesen Ballon, Fig. 50, wird vorerst ein kleines Röhrchen *a b*, Fig. 51, angeschmolzen, welches man behufs Luftverdünnung (Evacuirung), auf eine Quecksilberpumpe aufsetzt. Ist die Luftverdünnung genügend weit vor sich gegangen, so schmilzt man das Röhrchen *a b* zu. Es erweist sich

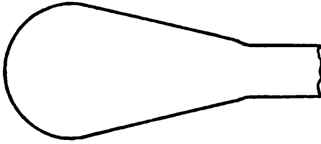


Fig. 50.

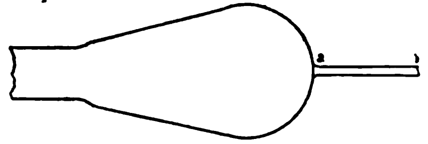


Fig. 51.

als unvortheilhaft, die Lampen mit den Platindrähten (Platinösen) unmittelbar einzuschalten. Die allgemeinste Befestigungsart der Kontakte an dem Glase ist die mittelst Gips. Die Enden der Platindrähte werden mit verzinnten Kupferdräthen verlöthet und eingegipst.

Die Verbindungen der Glühlampen mit den Leitungen erfolgen durch die sogenannten Fassungen.

65. Glühlampenfassungen. Von den verschiedenen Fassungen seien genannt: Edison, Lane-Fox, Maxim, Siemens, Bernstein, Huber, Egger, Helios, Vitrite, Cruto, Ganz u. s. w.

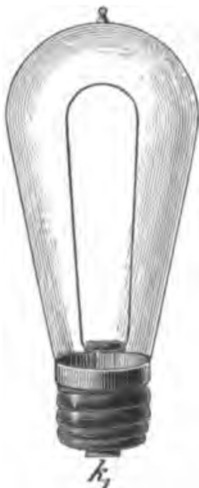


Fig. 52.

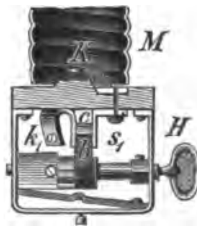


Fig. 53.



Fig. 54.

1. Die Fassung von Edison. Fig. 52 zeigt die Glühlampe von Edison. Die Fig. 53 und 54 stellen die Glühlampenfassung von Edison mit Hahn dar. Der Glühlampenfuß ist in eine messingene Gewindehülse, Fig. 52, eingeschlossen (ein Pol der Kohle). Unter dem Fuße der Lampe befindet sich eine Blechkappe k_1 (zweiter Pol der Kohle). Die Hauptbestandtheile der Fassung, Fig. 53 und 54, sind ein Muttergewinde *M* (ein Pol der Lampenleitung) und eine isolirte Brücke *b* (zweiter Pol der Lampenleitung). Schraubt man die Glühlampe in die Fassung, so werden die Blechkappe k_1, am Fuße der Lampe, gegen den Kontakt *K*

der Brücke gedrückt und die Lampe eingeschaltet. Der Hahn *H* dient zum Ausschalten der Lampe.

Der Strom fließt von der Klemmschraube k_1 durch den Kontakt *c* der Brücke *b*, die Schraube s_1, den Kontakt *K*, die Blechkappe *K*, die Lampe (den Kohlenfaden), das Muttergewinde *M* zur Schraube s_2 und der Klemmschraube k_2.

2. Die Fassung von Swan. In Fig. 55 ist die Glühlampe, in Fig. 56 die Fassung der Lampe von Swan abgebildet. Die Befestigung der Lampe mit der Leitung besorgen Platinösen; letztere können sehr leicht gebrochen werden oder durch schlechten Kontakt abschmelzen. Sowohl die Lampe, als auch die Fassung zeichnen sich durch ihre Einfachheit aus. Auf dem Holzzapfen *Z*, Fig. 56, sind zwei Häkchen befestigt, welche mit den Klemmschrauben k_1 und k_2 in Verbindung stehen. Die Lampe hängt mit den Platinösen v_1 und v_2, Fig. 55, in zwei Häkchen, Fig. 56, welche in dem Holzzapfen befestigt sind. Der Druck einer Spiralfeder *S*, zwischen Zapfen und Lampe, sorgt für einen guten Kontakt und die Spiralfeder *S* schützt durch ihre Elasticität die Lampe vor starken Stößen. Das Material des Kohlenfadens dieser Lampe bilden Baumwollfäden, welche in Schwefelsäure pergamentartig gemacht und in geschlossenen Gefäßen verkohlt wurden.

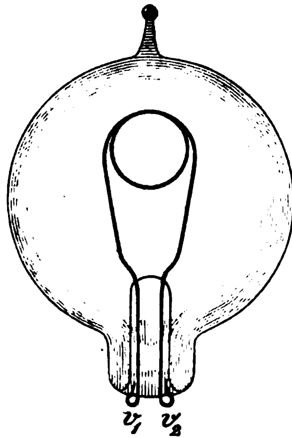


Fig. 55.

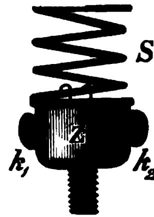


Fig. 56.

3. Die Fassung der Vitrite-Lampe, Fig. 57 zeigen Fig. 58 und 59. Der Lampenfuß der Glühlampe, Fig. 57, ist in eine Hülse h_1 eingegipst, welche zwei Stifte trägt; einen dieser Stifte macht die Figur ersichtlich. Die beiden Pole der Lampe veranschaulichen die Kontakte c_1 und c_2. Die Lampenfassung, Fig. 58 und 59, besteht aus der Bajonettkapsel *H*, welche auf das Gewinde *g* aufgeschraubt erscheint. Das, aus einem Isolator hergestellte, Grundplättchen S_2, Fig. 58, S_1, Fig. 59, dient zur Befestigung der beiden federnden Kontakte der Fassung k_1 und k_2; der Rand *r* desselben tritt über den Umfang der Kapsel *H* heraus. Bei *m*, Fig. 59, werden die Leitungsdrähte in die Lampe

eingeführt. Dreht man die Lampe, Fig. 57, mit ihrer Hülse h_1 in die Kapsel H, Fig. 59, so lange, bis sich die Stifte in den Oeffnungen des Bajonettverschlusses V befinden, dann drücken die Kontakte c_1 und c_2 gegen jene k_1 und k_2 und die Lampe ist eingeschaltet. Der Strom fließt dann auf dem Wege: k_1, c_1, Glühfaden, c_2, k_2.

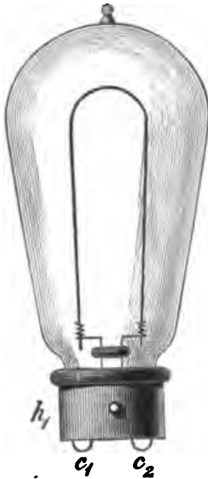


Fig. 57.

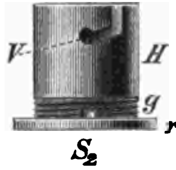


Fig. 58.

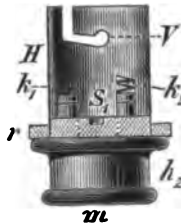


Fig. 59.

4. Die Lampe und Fassung von Siemens & Halske. Die Fig. 60 bis 62 stellen die Glühlampe und die Glühlampenfassung von Siemens & Halske dar. In den Lampenfuß sind zwei Messingwinkel W_1 und W_2 eingegipst, welche mit dem Kohlenfaden in Verbindung stehen. Die Pole der Fassung, Fig. 61 und 62, bilden zwei Metallknöpfe, welche isolirt aufmontirt sind. Die Metallknöpfe K werden durch eine Spiralfeder gegen die Messingfeder F gedrückt. Das Einschalten der Lampe erfolgt dadurch, dass man den Lampenfuß in die Fassung schiebt und dreht. Die Messingwinkel schieben sich zwischen die Plättchen und Knöpfe. Die Fassungen mit Ausschalter, Fig. 62, sind mit einem Hahne versehen.



Fig. 60.



Fig. 61.


Fig. 62.

5. Die Lampe und Fassung von Cruto, Fig. 63 bis 65. Der Stromweg führt, Fig. 64 und 65 von der Klemme k_3, mittelst eines Kupferdrahtes, zum Messingmantel c_2, zur Hülse C, durch den Kohlenbügel der Lampe, zur Schraube z, welche in das, mit Muttergewinde

versehene Stück c_1 eingeschraubt wird, zur Feder f_2 und in der Stellung des Griffes g_1, Fig. 64 und Fig. 65, durch das, mit dem Griffe g_1 verbundene, Kontaktstück s_1 (welches T-förmig ist) zur Feder f_1 und der Klemme k_1. Wird der Griff g_1, also auch das Kontakt-T-Stück, um 90 Grade verdreht, so löst sich der Kontakt des T-Stückes s_1 mit der Feder f_1 und die Lampe ist ausgeschaltet.

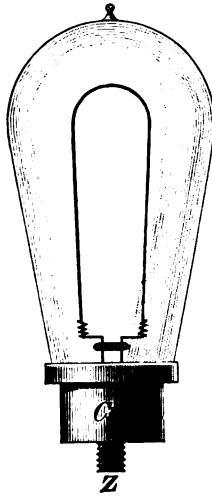


Fig. 63.

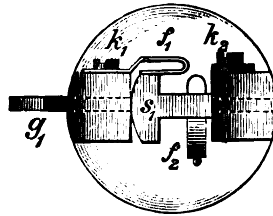


Fig. 64.

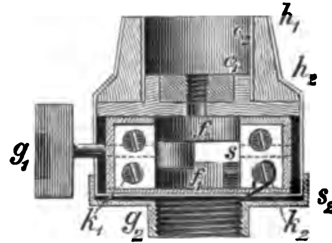


Fig. 65.

6. Die Lampe und Fassung von B. Egger & Co., Fig. 66 bis 68, haben eine sehr einfache Einrichtung. Die beiden Pole derselben bilden die Hülse C_2 mit der Kontaktschraube k_1 und der Stöpselkontakt H mit der Kontaktschraube k_2. Die beiden Poltheile sind auf Holz montirt und von einander wohl isolirt, so dass ein Schluss durch den Kontaktstift S, zwischen den Poltheilen innerhalb der Fassung, unmöglich ist. Die Lampe erscheint eingeschaltet, wenn die Kontakte zwischen c_1 und c_2 ein-



Fig. 66.

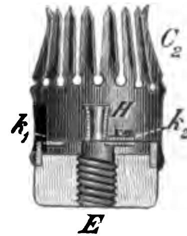


Fig. 67.



Fig. 68.

erseits und *S* und *H* andererseits, durch Stecken der Lampe in die Fassung, hergestellt wurde. Die Drähte werden bei *E* eingeführt und an die Klemmen k_1 und k_2 angeschlossen. Das Ausschalten der Lampen mit diesen Fassungen besorgen die an denselben angebrachten Patentausschalter *A*, Fig. 68, deren Detailzeichnung in den Fig. 109 u. 110 folgt.

66. Die Neben- und Hintereinanderschaltung der Glühlampen. Die Nebeneinanderschaltung[1]) hat den Nachtheil, dass sich die Anlage der Leitungen in den Häusern sehr viel theurer stellt, als bei der Reihenschaltung; ferner verursacht die Nothwendigkeit der Schmelzdrähte, um Feuersgefahr zu verhüten, einen sehr erheblichen Nachtheil der Nebeneinanderschaltung und schließlich ist die Lampe mit feinen, dünnen Kohlenfäden dem Auge längst nicht so angenehm, als das von einem dicken, kurzen Kohlenstab, welcher in der Reihenschaltung Verwendung findet, ausgestrahlte Licht. Die Reihenschaltung der Glühlampen hat den Nachtheil, dass die in Anwendung kommende, höhere Spannung eine bessere Isolation nöthig macht, dagegen die Vortheile, dass der Strom beständig erhalten werden kann, dass jede Feuersgefahr vermieden ist, dass die Lampe eine viel bessere Umwandlung der elektrischen Energie in Licht gestattet und dass sich das ganze System sehr erheblich billiger in der Anlage und im Betrieb stellt, als das System der Nebeneinanderschaltung. Zur Erzielung eines beständigen Stromes bedient man sich am besten einer gut konstruirten Dynamo, welche direkt von einer Dampfmaschine angetrieben wird. Beseitigt man an dieser Dampfmaschine den Centrifugalregulator, so regulirt sich die Geschwindigkeit der Maschine, je nach der Anzahl der Lampen im Stromkreise von selbst, d. h. wenn diese Anzahl groß ist, dann läuft die Dampfmaschine rasch, wird die Anzahl der Lampen verringert, so verringert sich auch die Umdrehungszahl der Dampfmaschine. In vielen Fällen genügt diese Regulirung. Bei einer sehr großen Anzahl von auszuschaltenden Lampen muss die Dampfmaschine mit einem elektrischen Regulator versehen sein; alsdann ist die Regulirung vollkommen.

Die Vortheile dieser Einrichtung sind folgende:

1. Die Dampfmaschine arbeitet bei großer Last ebenso, wie bei kleiner Last mit dem höchsten, unveränderlichen Grad der Expansion, daher mit der größten erreichbaren Wirtschaftlichkeit.

2. Die Abnützung der Maschine ist wesentlich verringert, indem die Maschine bei geringer Last verhältnismäßig weniger Umdrehungen macht.

3. Die Bürsten am Kommutator der Dynamomaschine können immer in der normalen funkenlosen Lage verbleiben, da sowohl der Strom in den Feldmagneten, wie im Anker beständig bleibt.

---

[1]) Vgl. Zeitschrift für Elektrotechnik, 1889, Seite 282 ff.

Bei dem Bernstein'schen System wird allgemein ein Strom von 10 Ampère in Anwendung gebracht und sind die Leitungen hierfür zu bemessen.

67. Glühlampen für Hintereinanderschaltung.

Die Glühlampe und Fassung von Bernstein, Fig. 69 bis 71. Die neueste Form dieser Lampe für Reihenschaltung ist in der Fig. 69 dargestellt. Der leuchtende Körper hat die Gestalt eines

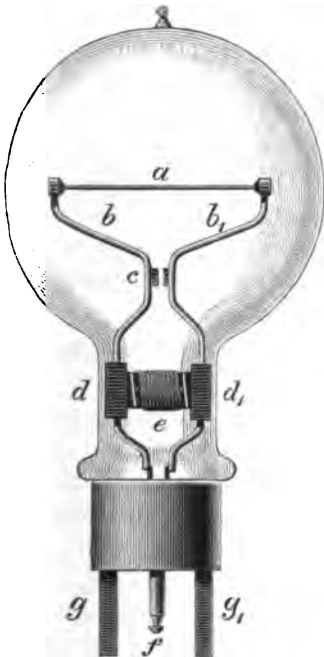


Fig. 69.

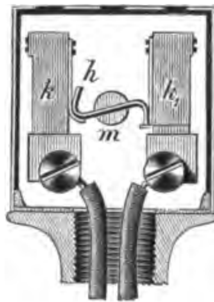


Fig. 70.



Fig. 71.

geraden Kohlenstabes *a*, welcher an den Enden der Zuleitungsdrähte *b* und b_1 befestigt ist. Diese Drähte sind so gebogen, dass sie sich, an der etwas verstärkten Stelle *c*, fast berühren. *d* und d_1 sind zwei Hülsen aus isolirendem Material, welche die Zuleitungsdrähte umgeben. Diese Hülsen werden durch eine Spiralfeder *e* aneinander gedrückt. Solange nun die Kohle unverletzt ist, verhindert diese selbst ein Berühren der Drähte in *c*. Bricht die Kohle, so drückt die Feder die Zuleitungsdrähte langsam zusammen, bis ein an der Stelle *c* entstehender Kontakt, den Kurzschluss in der Lampe herstellt.

Abgesehen von der großen Einfachheit und absoluten Sicherheit der Wirkung, hat diese Konstruktion noch den Vortheil, dass die

Bildung eines Lichtbogens in der Lampe, mit den dadurch entstehenden Nachtheilen, vollständig vermieden ist. Diese Lampen werden meist von 16 bis 50 Kerzen hergestellt. Für eine größere Kerzenanzahl, z. B. zur Beleuchtung von Plätzen, empfiehlt sich die Gruppirung mehrerer solcher Lampen in einer Laterne. Diese Anordnung entspricht besser, als die Anwendung einzelner Lampen, von sehr hoher Kerzenstärke, da letztere Lampen meist keine sehr lange Lebensdauer haben und außerdem das Versagen einer Lampe das Erlöschen der ganzen Laterne zu Folge hat. Um es bei der Reihenschaltung zu verhindern, dass eine Unterbrechung des Stromes, durch das Entfernen einer Lampe aus dem Halter, entsteht, ist dieser letztere so konstruirt, dass eine Entfernung der Lampe nur nach einem Kurzschluss im Halter selbst vorgenommen werden kann; dieser Kurzschluss erscheint auch nur dann aufhebbar, wenn sich eine Lampe in dem Halter befindet. Der Halter ist in den Fig. 70 und 71 dargestellt. Eine Platte aus isolirendem Material *h* trägt zwei Metallhülsen *k* und k_1, in welchen die quadratischen Stifte *g* und g_1, Fig. 69, der Lampenkappe hineinpassen. Um einen guten Kontakt, zwischen den Stiften und den Metallhülsen, zu erzielen, sind die vorderen Wände der letzteren durch zwei Blattfedern *i* und *i* ersetzt. Zwei Schrauben befestigen die Zuleitungsdrähte an den Metallhülsen. Das *S*-förmige Stück *m*, welches durch einen Griff gedreht werden kann, dient dazu, im Halter einen Kurzschluss herzustellen. In dem Bilde, Fig. 70, ist dieser Kurzschluss ersichtlich. Zur Erzielung eines guten Kontaktes zwischen dem *S*-förmigen Stücke *m* und den Metallhülsen *k* und k_1 dienen wiederum zwei Blattfedern, von denen die linksbefindliche unten etwas umgebogen ist. An einer der oben erwähnten Blattfedern befindet sich unten ein Stift, welcher in der gezeichneten Lage eine Drehung des Stückes *m* verhindert. Es kann daher ein Oeffnen des Stromkreises nicht stattfinden. Wird jedoch die Lampe in den Halter eingesetzt, so heben sich die Blattfedern *i* und *i*, der an der letzteren befindliche Stift kommt jetzt außerhalb des Bereiches von *m* und eine Drehung von *m* kann bis in die Stellung, Fig. 71, stattfinden. In diesem Falle geht der Strom durch die Lampe. Nun erscheint die Lampe in dem Halter gesperrt, weil das *S*-förmige Stück *m* über den Kopf des Stiftes *f*, Fig. 69, an der Lampenkappe hinüber greift. Dagegen kann der Strom nach Belieben an- und abgedreht werden. Will man jedoch die Lampe entfernen, so muss man zuerst das Stück *m* wieder in die Lage Fig. 70 drehen, d. h. Kurzschluss im Halter herstellen. Obwohl jeder Halter eine Kurzschlussvorrichtung besitzt, so ist es mitunter wünschenswert, ganze Gruppen von Lampen zugleich auszuschalten. In diesem Falle bedient

man sich eines gewöhnlichen Umschalters zur Herstellung des Kurzschlusses in der Leitung. Bei einer Straßenbeleuchtung nach diesem System kommt, gegenüber der Anwendung von Bogenlampen, noch der Vortheil in Betracht, dass man von der Centralstelle aus nach Belieben die gesammte Beleuchtung, zu Zeiten einer minder hellen Beleuchtung der Straßen, verringern kann, was bei der Anwendung von Bogenlampen ausgeschlossen erscheint.

68. **Der Anschluss der Glühlampen an die Leitungen** erfolgt entweder direkt, Fig. 72, oder indirekt durch eine Armatur (Wandarm, Hängearm, Krone, Laterne u. s. w.).



Fig. 72.



Fig. 73.

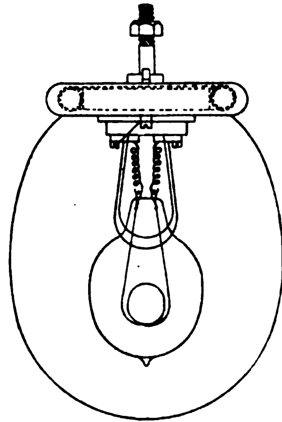


Fig. 74.

69. **Die Schutzglocken** haben den Zweck, Entzündungen (Explosionen) der sie umgebenden Gase beim Brechen der Glasbirne auszuschließen, das Bestauben der Lampe zu verhindern oder diese vor Verletzungen, z. B. in Werkstätten, zu schützen. Eine staubdichte Schutzglocke, z. B. für Mühlen, zeigt Fig. 73. Dieselbe besteht aus einer birnförmigen Schutzglocke und aus einer Kappe. Durch das Niederschrauben der Kappe wird ein Gummiring, welcher sich innerhalb derselben befindet, gegen den Glasrand gedrückt. Ein Drahtkorb dient zum Schutze gegen zufällige äußere, mechanische Beschädigungen.

Fig. 74 stellt eine luftdichte Schutzglocke dar. In die Hohlkehle des Deckels einerseits und in die Rinne der Glocke andererseits wird

ein Gummiring eingepresst. Diese Schutzglocken sind ganz besonders für Räume, in denen sich leicht entzündliche Gase befinden und für feuchte Räume (Gährkeller von Brauereien, Färbereien u. s. w.), geeignet. Vor Wind und Wetter werden die Glühlampen zumeist durch Laternen geschützt.

70. Die Lebensdauer der Glühlampen. Nach dem heutigen Stande der Glühlampenfabrikation beträgt die Lebensdauer dieser Lampen höchstens 2000 Brennstunden. Diese Zahl wird größer oder kleiner, je nachdem die Lampen mit einer geringeren oder höheren, als der normalen Spannung oder normalen Lichtstärke glühen.

Die folgende Tabelle[1]) zeigt übersichtlich den Zusammenhang zwischen Lichtstärke und Lebensdauer einer 16-kerzigen Lampe bei verschiedener Beanspruchung derselben. Ueberspannungen von 25% und mehr ertragen die Glühlampen nur einige wenige Stunden. Im allgemeinen wird die Lebensdauer einer Glühlampe umso kürzer, je größer die normale Spannung derselben ist.

Dauer der Glühlampen.

Eine 16-kerzige Lampe brennt mit		Eine 10-kerzige Lampe brennt mit	
Normalkerzen	Stunden	Normalkerzen	Stunden
10	5550	8	2260
11	3963	9	1470
12	2857	10	1000
13	2134	11	714
14	1628	12	512
15	1292	13	385
16	1000	14	294
17	802	15	233
18	651	16	179
19	534	17	145
20	443	18	118
21	371	19	96
22	312	20	80
23	266	—	—
24	228	—	—
25	196	—	—
30	163	—	—

71. Die Prüfung der Glühlampen umfasst:

1. Die Messung der Stromstärke bei der normalen Spannung. Den neuesten Anforderungen, bei den gebräuchlichsten Spannungen, entsprechende Stromstärken enthält die gegenüberstehende Tabelle von Siemens & Halske.

[1]) J. Zacharias, Die Glühlampe, 1890, Seite 165.

Glühlampen von Siemens & Halske in Berlin.[1])

Angaben	Ia	I	II		IV				VI				VIII			X	XII		XV	XX
Kerzen	5	8	10	10	16	16	16	16	25	25	25	25	35	35	35	50	50	50	50	100
Volt	25	50	100	65	120	100	65	50	120	100	50	50	120	100	65	65	100	50	10	20
Ampère	0·77	0·52	0·39	0·52	0·46	0·50	0·77	1·02	0·66	0·77	1·17	1·50	0·92	1·12	1·72	—	2·5	3·0	11	11
Watt für 1 Kerze	3·8	3·2	3·6	3·2	3·7	3·4	3·2	3·4	3·3	3·2	—	—	—	3·3	—	3·2	—	—	—	—
S. E. kalt	62	190	506	228	489	375	168	100	327	251	—	—	—	173	—	124	—	—	—	—
„ heiß	32·5	96·2	256	125	260	200	84·4	49·0	185	130	55·5	33·3	130	89·3	37·1	66·6	26	16·6	0·91	1·81
Stärke des Fadens *mm*	0·222	0·166	0·136	0·166	0·155	0·146	0·217	0·224	0.195	0·226	—	—	—	0·280	—	0·361	—	—	—	—
Länge „ „ „	41·1	74·5	121·7	90·4	162·3	149·9	105·0	125·7	165·7	166·4	—	—	—	199·6	—	215·0	—	—	—	—
Querschnitt *mm*²	0·039	0·022	0·0145	0·022	0·019	0.021	0·037	0·039	0·030	0·040	—	—	—	0·062	—	0·102	—	—	—	—
Spec. Widerstand bezogen auf S. E.	55·5	52·8	56·8	52·5	63·8	49·2	55·9	29·2	58·0	57·0	—	—	—	50·2	—	55·0	—	—	—	—
Ampère für 1 *mm*²	19·7	23·5	25	23·5	25	25	20·5	27·5	22·5	19·5	—	—	—	18·2	—	15·3	—	—	—	—
$\frac{i^2}{r^3}$	430	470	415	470	485	510	450	820	490	420	—	—	—	470	—	415	—	—	—	—

[1]) J. Zacharias, Die Glühlampe, 1890, Seite 151.

2. Die Messung des Widerstandes. Lampen, welche bei derselben Spannung gleich hell brennen und deren Fäden mit derselben Temperatur glühen, haben denselben Widerstand.

3. Photometrische Messung der Leuchtkraft. Die zumeist verwendeten Photometer sind die von Bunsen (Glühlampen) und Weber (Bogenlampen).

4. Die Bestimmung der Lebensdauer. Dieselbe erfolgt am zuverlässigsten in Beleuchtungsanlagen oder Versuchsstationen mit konstanter, normaler Betriebsspannung, insbesondere in Akkumulatorenanlagen. In Versuchsräumen pflegt man, in dringenden Fällen, ein vereinfachtes Verfahren anzuwenden, das darin besteht, dass man das zu prüfende Lampenfabrikat mit einem bekannten Fabrikate bei Spannungen vergleicht, welche die normale Betriebsspannung bis 25% übersteigen.

Die wichtigsten Fehler der Glühlampen sind:

1. Die Kohlenfäden sind schlecht und brennen sehr leicht durch. Das Durchbrennen des Fadens, bei vielen Lampen an derselben Stelle, deutet auf einen Fehler in der Fabrikation. Lässt man die Lampe roth glühen, so lassen sich Fehlerstellen (dünnere Stellen) durch stärkeres Glühen leicht erkennen.

2. Der Kohlenüberzug der Fäden hat eine zu geringe Haltbarkeit.

3. Die Luftverdünnung ist unzureichend, wenn der Faden durch Erschütterung nur langsam schwingt und die Lampe sehr heiß wird. Glühlampen, welche geringe Mengen von Stickstoff enthalten, werden sehr heiß, sind infolge der starken Wärmeausstrahlung nicht wirtschaftlich und brauchen, bei gleicher Leuchtkraft, eine viel höhere Spannung.

4. Die unrichtige Wahl des Glases.[1]) Das beste Glas muss dünn sein und eine glatte Oberfläche haben. Lampen aus starkem oder mattem Glase erwärmen sich mehr, als solche aus dünnem Glase.

72. Zusammenhang zwischen Normalkerzen, Volt, Ampère und Watt.

Die vorangehende Tabelle von Siemens & Halske gibt eine übersichtliche Zusammenstellung zusammengehöriger Werte von Normalkerzen, Volt, Ampère, Watt für 1 Kerze u. s. w. i bedeutet die Stromstärke, r den Halbmesser der Fäden und *SE* Siemens-Einheiten.

Bisher unterscheidet man, bezüglich ihrer Konstanten, hauptsächlich dreierlei Glühlampenfabrikate.

Zum bequemen Vergleiche dieser Fabrikate sind in den folgenden Angaben Lampen zu 16 Normalkerzen und 100 Volt vorausgesetzt.

---

[1]) J. Zacharias, Die Glühlampe, 1890, Seite 8.

1. Hochwattige Lampen zu 0·5 Ampère und 800 Brennstunden bei gleichmäßiger Lichtstärke während der ganzen Brenndauer.

2. Hochwattige Lampen zu 2000 Brennstunden und mit der Brenndauer abnehmenden Ampère und Normalkerzen. Die neue Lampe gibt bei 0·5 Ampère rund 16 Normalkerzen, nach 1000 Brennstunden jedoch bei rund 0·25 Ampère, rund 8 Normalkerzen und schließlich nach 2000 Brennstunden, bei etwa 0·17 Ampère, beiläufig 4 Normalkerzen.

3. Niederwattige Lampen[1]) zu 0·388 Ampère und 250 Brennstunden. Die Preise dieser Lampen zu den unter 1. und 2. angeführten stellen sich annähernd wie 7:4.

IV. Kapitel.

Glüh- und Bogenlicht.

73. Licht-Einheiten. Als Lichteinheit gelten die sogenannten Normalkerzen.

Normalkerzen.[2])

Lichtquelle	Flammenhöhe in *mm*	Lichtstärke in Münchener Stearinkerzen	Anmerkung
Münchener Stearinkerze	52	1	10·4 *g* in 1 Minute
Deutsche Paraffinkerze*)	50	0·96	12 Stück = 1 *kg*
Englische Walrathkerze	44·5	0·94	7·77 *g* in 1 Stunde**)
Französische Carcellampe	40	7·6	42 *g* Colzaöl***)
Amylacetat-Lampe	43	0·94	8 *mm* Dochtröhre
Violle-Platin-Einheit	—	16·4	Pariser Conferenz 1884

*) 20 *mm* stark, Docht mit 24 Fäden.
**) 120 Grains englisch.
***) Dochtröhre 30 *mm* stark.

F. von Hefner-Alteneck[3]) hat eine beständigere Lichteinheit vorgeschlagen; dieselbe enthält eine Dochtröhre von Neusilber, 8 *mm* innerem, 8·2 *mm* äußerem Durchmesser, mit massivem Dochte. Die Füllung ist Amylacetat. Die Flammenhöhe vom Rande der Dochtröhre

[1]) Die Angaben über diese neuen Lampen verdanke ich Ernst Jordan.
[2]) J. Zacharias, Die Glühlampe, 1890, Seite 8.
[3]) Uppenborn, Kalender für Elektrotechniker, 1890, S. 45.

bis zur Spitze beträgt 40 *mm*. Die Leuchtkraft ist etwa dieselbe, wie jene der deutschen Normalkerze. Nach E. Liebenthal beträgt die mittlere Schwankung der Flammenhöhe 0·16 *mm*, jene der Leuchtkraft 0·4%.

Zur Messung der Flammenhöhe aller Normalflammen benutzt man das optische Flammenmaß von Krüss[1]).

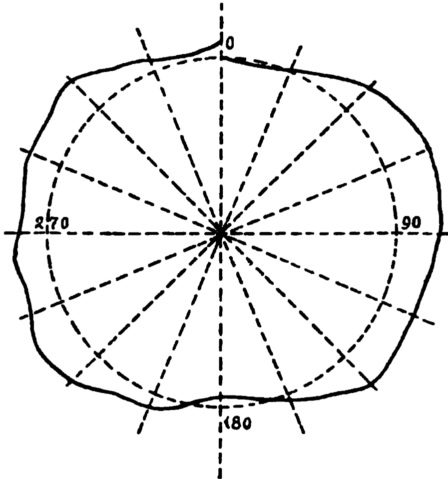


Fig. 75.

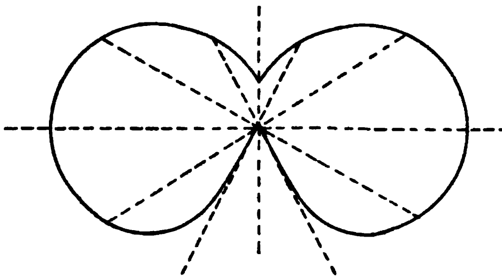


Fig. 76.

Eine Normalkerze beleuchtet eine ebene, kleine Fläche im Abstande von 1 *m* mit der Stärke von 1 Meterkerze, wenn die Strahlen die Fläche senkrecht treffen. Nach Cohn in Breslau genügen 50 Meterkerzen, um das Tageslicht zu ersetzen. 50 Meterkerzen gelten als größte, 25 als mittlere, 10 als geringste Beleuchtungsstärke. Für Straßenbeleuchtungen sollen die Hauptstraßen mit 2, die Nebenstraßen wenigstens mit 0·1 Meterkerze beleuchtet sein. Befindet sich eine Lichtquelle im Abstande eines Meters von einer Schrift, so wird dieselbe mit einer bestimmten Helligkeit beleuchtet; bringt man nun, in demselben Abstande, soviel Normalkerzen an, bis die Schrift dieselbe Helligkeit, wie früher zeigt, dann ist die Anzahl dieser Normalkerzen gleich der Anzahl der Meterkerzen, mit welcher die Schrift, beziehungsweise die Fläche, auf welcher sich dieselbe befindet, durch die Lichtquelle beleuchtet wird. Dieses Verfahren versinnlicht zugleich das Wesen der photometrischen Messmethoden.

74. Lichtstärke. Etwa drei Watt erzeugen durch eine Glühlampe eine Normalkerze. Für Bogenlicht rechnet man bis zu 6 Ampère

---

[1]) Centralblatt für Elektrotechnik, Band VI. Seite 51.

für etwa 1 Ampère, 100 Normalkerzen. Eine Bogenlampe zu 9 Ampère gibt rund 1200, eine solche zu 20 Ampère etwa 3000 Normalkerzen.

75. Die Vertheilung des Glühlichtes.[1] Bei Glühlicht und elektrischen Kerzen ist das Licht in wagrechter und senkrechter Richtung ungleichmäßig vertheilt. Die Figuren 75 und 76 zeigen das Bild der Lichtvertheilung, für einen hufeisenförmig gekrümmten Glühfaden, in wagrechter, Fig. 75, und senkrechter, Fig. 76, Ebene.

76. Die Wirtschaftlichkeit von Glüh- und Bogenlicht. Die Wirtschaftlichkeit einer Glühlampe

$$= \frac{\text{Stromstärke} \times \text{Spannung}}{\text{Normalkerzenanzahl}}.$$

Beispiel: Wie groß ist die Wirtschaftlichkeit einer Glühlampe, wenn die Leuchtkraft derselben, bei einer Spannung von 100 Volt und einer Stromstärke von 0·5 Ampère, 16 Normalkerzen beträgt?

$$\text{Wirtschaftlichkeit} = \frac{0{\cdot}5 \times 100}{16} = \frac{50}{16} \doteq 3 \text{ Watt für } 1\ NK.$$

Nach obiger Annahme verbraucht eine Bogenlampe zu 100 Normalkerzen etwa 1 Ampère; dabei wurde die Spannung von 45 Volt vorausgesetzt. Bei Bogenlicht sind rund:

Für 100 *NK*: 1 Ampère $\times$ 45 Volt = 45 Volt-Ampère erforderlich, also

für 1 *NK*: $\frac{45}{100} \doteq 0{\cdot}5$ Volt-Ampère oder Watt.

Bei Glühlicht erzeugen (§ 74) 3 Watt 1 *NK*. Es verhalten sich demnach die aufgewendeten Watt bei Bogen- und Glühlicht wie 0·5 : 3 oder wie 1 : 6.

Diese Ausführungen zeigen, dass bei Glühlicht sechsmal soviel Watt für je eine Normalkerze verbraucht werden, als beim Bogenlicht. Für höhere Stromstärken fällt dieses Verhältnis für das Glühlicht noch ungünstiger aus.

77. Die wichtigsten Vor- und Nachtheile des Glühlichtes im Vergleiche zum Bogenlichte.

Die Nachtheile des Glühlichtes sind:

1. Das Glühlicht erfordert einen größeren Arbeitsverbrauch (§ 76).
2. Die Erhöhung der Temperatur bei derselben Kerzenzahl ist größer.
3. Die Wiedergabe der natürlichen Farben der Körper ist ausgeschlossen.
4. Zu Effektbeleuchtungen ist das Glühlicht weniger geeignet.

[1] Gérard (Kareis und Peukert), 1889, Seite 330.

Zu den Vortheilen des Glühlichtes zählen:

1. Die Theilung des Lichtes ist eine vollständige. Das elektrische Licht kann in jeder beliebigen Stärke und Vertheilung abgegeben werden.

2. Vorzügliche Eignung zur Beleuchtung kleiner Räume.

3. Beleuchtungskörper für Gaslicht sind in der Regel für das Glühlicht verwendbar.

4. Die Lichtstärke der Glühlampen lässt sich durch Widerstände oder Aenderung in der Tourenzahl der Dynamo beliebig reguliren.

5. Die Handhabung ist bequemer.

78. Die Vergleichung der beiden Gleichstromsysteme[1]) hintereinandergeschalteter Bogenlampen mit hoher und niederer Spannung.

I. Hohe Spannung:	II. Niedere Spannung.
1. Geringere Kupferkosten für denselben Spannungsverlust.	1. Höhere Kupferkosten für denselben Spannungsverlust.
2. Hoher Isolationswiderstand.	2. Geringer Isolationswiderstand.
3. Größere Gefahr im Betriebe.	3. Geringe Gefahr im Betriebe.
4. Die Farbe des Lichtes enthält mehr blaue und violette Strahlen.	4. Die Farbe des Lichtes ist weiß und angenehm für das Auge.
5. Die Lampen brennen ruhig.	5. Die Lampen zischen.

79. Das Nachglühen. Schickt man einen Strom in eine Glühlampengruppe und unmittelbar darauf, während die Lampen dieser Gruppe noch glühen, denselben Strom in eine zweite Glühlampengruppe und kehrt diesen Vorgang dauernd um, so kann man mit ein und demselben Strome gleichzeitig zwei Stromkreise beleuchten. Man nennt diese Erscheinung das Nachglühen der Glühlampen. Auf Grundlage dieser Erscheinung haben Le Roux, Thomas Alva Edison, Johann Karl Pürthner und Nollendorf eigene Stromvertheilungssysteme erdacht. Bei diesen Systemen sind zwei Stromkreise mit Lampen vorhanden, welche derselbe Strom nicht gleichzeitig, sondern abwechselnd durchfließt; in dem Augenblicke nämlich, in welchem der Strom in der einen Lampengruppe unterbrochen wird, erfolgt die Schließung desselben in der anderen und umgekehrt. Der von der Dynamo ausgehende Strom erscheint auf diese Weise eigentlich nie unterbrochen, die beiden Zweigleitungen jedoch erhalten einen unterbrochenen (intermittirenden) Strom. Wenn in der Sekunde mindestens

---

[1]) Fortschritte der Elektrotechnik, III. Jahrgang, Seite 44.

40 Unterbrechungen und Schließungen erfolgen, so ist, wie die Erfahrung lehrt, das Licht gleichmäßig und es kann mit demselben Kraftaufwande eine größere Lampenzahl gespeist werden.

80. Die Vergleichung der Gleich- und Wechselstromsysteme.[1])

I. Vortheile der Gleichstromsysteme.

1. Die Gleichstrommaschinen arbeiten äußerst wirtschaftlich und lassen sich beliebig schalten.

2. Die bei Gleichstrommaschinen verwendeten, niederen Spannungen bieten nur eine geringe Gefahr für Leben und Eigenthum.

3. Die Gleichstromlampen haben ein ausgezeichnetes Güteverhältnis, sie brennen ruhig und geräuschlos.

4. Die Gleichstrommotoren haben ein sehr hohes Güteverhältnis, ihre Geschwindigkeit lässt sich ebenso leicht dauernd konstant halten, als auch beliebig ändern.

5. Die elektrische Energie kann akkumulirt und zu elektrochemischen Zwecken benützt werden.

Diese Vorzüge der Gleichstromsysteme sind allgemein anerkannt.

II. Nachtheile der Gleichstromanlagen.

1. Die Centrale muss inmitten der Anlage liegen. Als nachtheilige Folgen davon werden angeführt:

a) Das Grundstück ist sehr theuer.

b) Der laute Gang der Pumpen und Ventile entwertet die Nachbargrundstücke.

c) Die Kohlen müssen an- und die Asche abgefahren werden, worunter der Straßenverkehr leidet und die Kosten zunehmen.

d) Es ist schwer, das genügende Kondensationswasser zu beschaffen; das verbrauchte hat keinen Abfluss.

e) Die Centrale belästigt die Nachbarschaft durch Rauch und Russ.

f) Die Aufstellung einer starken Kesselanlage, mitten in der Stadt, ist gefährlich.

2. Der Vertheilungsbezirk einer Gleichstromcentrale erscheint beschränkt, wenn man nicht ganz unverhältnismäßig theure Leitungen oder übergroße Verluste haben will.

3. Das Gleichstromsystem ist für wenig bebaute Bezirke zu kostspielig, eine Thatsache, die unbestritten dasteht.

III. Vortheile der Wechselstromsysteme mit Anwendung von Transformatoren.

---

[1]) **Elektrotechn. Echo, Heft 47; Zeitschrift für Elektrotechnik, 1889, Seite 567.**

1. Das Wechselstromsystem gestattet die Anwendung dünner Hauptleitungen; dies ist eine allgemein zugegebene Thatsache, welche besonders bei oberirdisch verlegten Leitungen zur Geltung kommt. Sind jedoch unterirdische Leitungen unvermeidlich, so wird dieser Vortheil dadurch beeinflusst, dass das Kupfer der Leitungen nur einen geringen Theil der Gesammtkosten der Leitungen beansprucht, dass die Isolirung bei den Kabeln für Wechselstrom eine sehr sorgfältige und daher sehr theure sein muss und dass die Kosten der Ausrüstung und Verlegung der Kabel sich nicht proportional mit dem Kupferquerschnitte verändern.

2. Das Wechselstromsystem ermöglicht die Entfernung der Centrale aus dem Beleuchtungsgebiete in günstiger gelegene Orte. Ob diese Möglichkeit sich zweckmäßig zur Ausführung bringen lässt, d. h. ob die Vorzüge und wirtschaftlichen Vortheile der entfernten Lage die unzweifelhaft vorhandenen Mehrkosten in der Leitungsanlage und die größere Betriebsunsicherheit aufwiegen, bleibt zu erörtern.

3. Das Wechselstromsystem ermöglicht die Vertheilung elektrischer Energie auf wenig bebaute Bezirke, ein wohl noch von Niemand bestrittener Vorzug des Wechselstromsystemes vor dem Gleichstromsystem.

4. Die Größe des Vertheilungsbezirkes ist nicht so enge beschränkt, wie bei Anwendung des Gleichstromes, da die Leitungen billiger sind. Sehr wichtig für diese Frage ist eine genaue Berechnung von Leitungsnetzen für verschiedene Systeme und Entfernungen, welche Oscar von Miller[1]) zusammengestellt hat. Aus den angegebenen Zahlen geht zunächst hervor, dass, selbst bei ziemlich großen Entfernungen, die Kosten des Kupfers, gegenüber den Ausgaben für Isolirung und Verlegung, viel weniger in's Gewicht fallen, als im allgemeinen angenommen zu werden pflegt, und dass infolgedessen die Kupferersparnis, welche bei der Verwendung hochgespannter Ströme erzielt wird, erst bei ziemlich großen Entfernungen wesentlich in Betracht kommt. Erst bei 2000 *m* Radius kommt hier eine Preisermäßigung der Leitung eines Transformatorensystemes, gegenüber dem Fünfleitersysteme, zur Geltung, wenn beide Mittelpunkte inmitten des Beleuchtungsgebietes liegen.

5. Das Wechselstromsystem ermöglicht zweckmäßiger die Benützung billiger Naturkräfte zu Beleuchtungszwecken, wenn diese in weiterer Entfernung von dem Beleuchtungsgebiet liegen.

6. Man kann auf Wunsch auch Glühlampen zu 50 Volt brennen lassen. Dieser Vortheil, niedriggespannte Glühlampen mit starkem

[1]) Journal für Gasbeleuchtung und Wasserversorgung, 1889, Seite 856 ff.

Kohlenfaden benützen zu können, ist besonders von Mordey erwähnt worden. Die Lampen geben ein sehr gutes Licht und die dickeren Fäden brechen weniger leicht ab. Bei Gleichstrom wäre die Benützung solcher Lampen nur zu zweien hintereinander oder mit einem, den Strom der zweiten verzehrenden, Widerstande möglich.

7. Wechselstrombogenlampen kann man auch einzeln ohne Energieverlust brennen lassen, auch brauchen dieselben eine geringere Spannung als Gleichstrombogenlampen.

8. Die Regulirung der Spannung ist einfacher und ohne Verluste sicherer als bei Gleichstrom. Diese Behauptung brachten nur das Gutachten der Frankfurter Kommission und die Schrift von Helios. Die Schwierigkeit, in den üblichen Wechselstrommaschinen gleiche Spannung zu halten, betreffend sei angeführt, dass die meisten Elektrotechniker der gegentheiligen Ansicht sind.

IV. Als Nachtheile des Wechselstromsystemes mit Transformatoren werden angeführt:

1. Der Wechselstrom zwingt zur Benutzung hoher Spannungen in den Hauptleitungen.

2. Die Wechselstromdynamo haben ein geringeres Güteverhältnis als Gleichstromdynamo.

3. Die Parallelschaltung von Wechselstromdynamo lässt sich nicht ohne Weiteres ausführen.

4. Die Umsetzung der Energie in den Transformatoren bringt einen erheblichen Verlust mit sich und erhöht die Unsicherheit und die Gefahren des Betriebes.

5. Der Wechselstrom zerstört eher die Glühlampe als der Gleichstrom.

6. Die Wechselstrombogenlampen haben ein geringeres Güteverhältnis und waren im Inneren vieler Gebäude, wegen ihres Geräusches, nicht benützbar.

7. Wechselstrommotoren arbeiten nicht für alle Zwecke vollkommen zuverlässig.

8. Die elektrische Energie lässt sich nicht akkumuliren und zu elektrochemischen Arbeiten benützen.

9. Der Wechselstrom lässt sich nicht so einfach messen, als der Gleichstrom.

10. Das fortgesetzte Umkehren der Stromrichtung zerstört die Isolation und verhindert eine vollständige Ausnützung des Kupferquerschnittes der Leitungen.

81. Gutachten über Gleich- und Wechselstromsysteme.[1])

1. Wirkungsgrad. Der Wirkungsgrad der neuen Wechselstrommotoren der Firma Ganz & Co.[2]) steht den Wirkungsgraden, die bei Gleichstrommotoren zur Zeit erreichbar sind, nur um ein geringes nach.

2. Anlauf. Der untersuchte Wechselstrommotor bedarf zur Inbetriebsetzung außer der gewöhnlichen Einschaltung noch einer zweiten Handbewegung, einer Umschaltung. Hiermit verglichen, benöthigt der Gleichstrommotor zunächst nur der einfachen Einschaltung; eine zweite Handhabung, die Verstellung der Bürsten, ist nur bisweilen erforderlich. Von den drei untersuchten Wechselstrommotoren läuft der große, 25-pferdige Motor überhaupt nicht von selbst an, die zwei kleineren (5 und $^1/_5$-pferdigen) Motoren laufen nur aus gewissen Stellungen, etwa in zwei von drei Fällen, von selbst an. Diese Motoren bedürfen daher sämmtlich zum Anlaufen einer Nachhilfe mit der Hand und haben in dieser Beziehung eine Eigenschaft mit den Gasmotoren gemein. Ein Anlaufen der Wechselstrommotoren unter Belastung wurde nicht versucht, weil dieses nach den Erklärungen der Firma mit dem Wesen derselben unvereinbar ist. Bei der Aufstellung und Verwendung dieser Motoren muss man deshalb auf diesen Umstand Rücksicht nehmen. Diese Motoren erfordern eine Leerlaufscheibe und die Belastung kann erst aufgeworfen werden, wenn der Motor in normalen Gang gekommen ist. Der Gleichstrommotor dagegen läuft in jeder Stelle, ohne Nachhilfe, an und kommt, auch unter der Anwendung einer Zugkraft, welche jene bei der normalen Belastung vielfach überschreiten darf, in Gang.

3. Funkenbildung. Das Anlaufen der zwei größeren Wechselstrommotoren war mit einer lebhaften Funkenbildung an Bürsten und Kommutator verbunden, welche bis zum Eintreten des normalen Ganges andauerte. Beim 25-pferdigen Motor erreichte die Funkenlänge etwa 5 *cm*, beim 5-pferdigen ungefähr 2 bis 3 *cm*. Mit dem Eintreten des normalen Ganges ging die Länge und Stärke der Funken auf jene geringfügigen Werte über, wie sie an Kommutatoren von Gleichstrommaschinen mit geringer Lamellenzahl zu sehen sind. Der kleinste,

---

[1]) Aus dem Gutachten (Zeitschrift für Elektrotechnik, 1890, Seite 176 ff.) betreffend die elektrische Beleuchtung der Stadt Frankfurt am Main 1890, abgegeben von Galileo Ferraris, Professor in Turin, Dr. Kittler, Professor in Darmstadt, W. H. Lindley, Stadtbaurath in Frankfurt a./M. und Dr. H. F. Weber, Professor in Zürich. In das Bereich des Gutachtens gehören die Projekte von Siemens & Halske und S. Schuckert für Gleichstrom und von Ganz & Co. für Wechselstrom.

[2]) Die neuesten Wechselstrommotoren dieser Firma haben sich besser bewährt als die dem folgenden Gutachten zugrunde gelegten.

$^{1}/_{3}$-pferdige Wechselstrommotor zeigt diese Funkenerscheinungen nur in außerordentlich geringem Maße. Unter dem normalen Laufe ist der, hier bei verschiedenen Belastungen erzielte, gleichmäßige (synchrone) Gang der Maschine verstanden.

4. Geräusch. Der Betrieb der Wechselstrommotoren verursacht naturgemäß mehr Geräusch, wie jener von Gleichstrommotoren, da zu dem auf mechanische Ursachen zurückzuführenden Geräusch mehrere Geräusche hinzutreten, welche theils durch die stärkere Funkenbildung, beim ungleichmäßigen (asynchronen) Anlauf, theils durch die Aenderung der Magnetisirung veranlasst werden.

5. Tourenzahl. Während der Gleichstrommotor gestattet, seine Tourenzahl, durch Einschaltung von Regulirwiderständen, in weitem Umfange zu vermindern, ist eine derartige Regulirung beim synchronen Wechselstrommotor nicht möglich.

6. Ueberlastung und plötzliche Belastung. Zur Untersuchung der Fragen über das Verhalten der Wechselstrommotoren der Firma Ganz & Co., bei Ueberlastung und bei plötzlicher Ent- und Belastung, wurden sowohl der große, als auch der kleine Motor einer Reihe von Versuchen unterworfen. Zunächst wurde untersucht, welche Maximalleistungen diese Motoren, die von der Firma als 25-pferdig und 5-pferdig bezeichnet werden, zu liefern vermochten. Wiederholte Proben legten dar, dass der große Motor bei allmählich gesteigerter Belastung erst bei einer Nutzleistung von über 40 *H P* aus dem synchronen Laufe fällt und stehen bleibt, also eine Ueberlastung bis zu etwa 60 % seiner Normalleistung erträgt. Eine plötzliche Ueberlastung über ein gewisses Maß hinaus, bringt den Motor aus dem synchronen Laufe und zum Stillstande. Eine plötzliche Entlastung des Motors von der maximalen Leistung (40 *H P*) bis auf Null, ruft im Gange des Motors keinerlei Aenderung hervor. Die zulässige Höhe der Maximalleistung ändert sich beim Gleichstrommotor erheblich, je nachdem dieselbe ganz kurz oder einige Zeit andauern soll. Für kürzere Zeiten vermag der Gleichstrommotor eine Ueberlastung zu ertragen, die erheblich über seine dauernde Normalleistung hinaus geht; für sehr kurze Zeit kann derselbe noch viel größere Zugkräfte überwinden.

7. Verwendbarkeit für Kleinindustrie und Straßenbahnen. Da der Gleichstrommotor, ohne weitere Zuthat, den Betrieb von Fahrzeugen und Arbeitsmaschinen ermöglicht, ist er dem untersuchten Wechselstrommotor in dieser Hinsicht überlegen.

8. Wirkungsgrad der Wechselstromtransformatoren. Das wirtschaftliche Güteverhältnis der Wechselstromtransformatoren mittlerer Größe von Ganz & Co. beträgt nach den vorliegenden

Erfahrungen annähernd bei voller Belastung 95 bis 96 %, bei halber Belastung 93 bis 94 %, bei Viertelbelastung 90 %, bei Achtelbelastung 80 bis 82 %; von da an fällt der Wirkungsgrad mit abnehmender Belastung rasch ab.

9. Automatische Einschaltung. Um überdies die Beanspruchung der Wechselstromtransformatoren, auch während der Zeit des geringen Stromverbrauches (in den späten Nacht- und Tagesstunden), möglichst in der Grenze ihres besten Güteverhältnisses zu erhalten, empfiehlt es sich, eine selbstthätige Vorrichtung zum Aus- und Einschalten der einzelnen Transformatoren anzuwenden.

10. Bogenlicht bei Innenbeleuchtung. Bei Abschätzungen zeigte es sich, dass die kleinen Wechselstrombogenlampen ein weniger weißes Licht als die kleinen Gleichstrombogenlampen besaßen, ein Umstand, der den Vergleich der Intensitäten beider Lichtquellen etwas erschwerte. Die Wechselstrombogenlampen für höhere Stromstärken zeigten diesen Unterschied nicht.

11. Bogenlicht bei Außenbeleuchtung. Nach den übereinstimmenden Urtheilen der Kommission war die mittlere Bodenbeleuchtung der Wechselstrombogenlampe als geringer zu erkennen, wie die mittlere Bodenbeleuchtung der Gleichstrombogenlampe und die Abschätzungen der Größe dieses Unterschiedes gingen dahin, dass sich die Helligkeit der beiden mittleren Bodenbeleuchtungen wie 4 : 5 verhalten dürften.

12. Lichtvertheilung. Während bei der Gleichstrombogenlampe fast das ganze Licht unter Winkeln von 40 bis 60° gegen die Wagrechte schräg nach unten gerichtet fällt, wird das Licht bei der Wechselstrombogenlampe in gleicher Art der Vertheilung, jedoch zur Hälfte schräg nach oben, zur Hälfte schräg nach unten, ausgestrahlt.

13. Wertverhältnis. Nach diesen Versuchen ist demnach bei gleichem Energieverbrauch, einschließlich jenem in den Vorschalt-Widerständen, eine Minderleistung der Wechselstrombogenlampe gegenüber der Gleichstrombogenlampe bei Innen- (Raum-) Beleuchtung von 20 %, bei Außen- (Boden-) Beleuchtung von 25 % anzunehmen.

14. Geräusch. Erfahrungsgemäß lässt sich das Geräusch der Wechselstrombogenlampen, durch zweckmäßige Konstruktion und gute Instandhaltung der Lampe, bis auf das leise Summen, vermeiden.

15. Kohlenstiftenverbrauch. Der Verbrauch von Kohlenstiften in Wechselstrom- und Gleichstrombogenlampen verhält sich, bei gleichem Energieverbrauche der Lampen, derart, dass die Wechselstrombogenlampen etwa 20 % mehr verbrauchen, als die Gleichstrombogenlampen.

16. Kosten des Bogenlichtes. Die Kommission schließt weiters eine Berechnung an, bei welcher unter der Annahme, dass 100 Watt Energie zu 8, beziehungsweise 6 Pf. für 1 Stunde geliefert werden, die Kosten des Wechselstrom- und Gleichstrombogenlichtes, bei gleichem Energieverbrauche, angegeben sind. Hiernach stellen sich die Kosten für die kleinen Bogenlampen (6 Amp. und 8 Amp.)

bei Gleichstrom auf $32^1/_2$, beziehungsweise 26 Pf.,
" Wechselstrom " $33^1/_2$, " " 27 " ,
für die großen Bogenlampen (12 Amp. und 16 Amp.)
bei Gleichstrom auf 61, beziehungsweise 48 Pf.,
" Wechselstrom " 62, " " 49 " .

17. Mehrfachsehen. Der rasche periodische Wechsel der Richtung und Stärke des Wechselstromes bedingt ebenso viele, rasche Wechsel der Lichtstärke des Wechselstrombogenlichtes, die allerdings an der Lampe selbst und bei Gegenständen, die sich in Ruhe oder in langsamer Bewegung befinden, nicht bemerkt werden können, welche aber rasch bewegte Gegenstände mehrfach erscheinen lassen. Das mit Wechselstrom erzeugte Glühlicht, zeigt diese Erscheinung nicht.

18. Elektricitätszähler. Soweit die Beobachtungen an dem Elektricitätszähler von Ganz & Co. ein Urtheil gestatten, steht das Wechselstromsystem in Bezug auf die Verwendbarkeit von Elektricitätszählern dem Gleichstromsysteme keineswegs nach.

19. Vorgeschlagene Gleichstromtransformatoren. Gleichstromtransformatoren, welche in städtischen Beleuchtungsanlagen in größerem Umfange allgemeine Verwendung gefunden und sich bewährt haben, sind uns nicht bekannt. Gleichstromtransformatoren, bei welchen auf ein- und demselben Anker beide Wickelungen (primäre und sekundäre) angeordnet sind, wie es in dem früheren Vorschlage von Schuckert vorgesehen war und wie es Lahmeyer[1]) neu vorgeschlagen hat, können wir aus Gründen der Betriebssicherheit nicht empfehlen, wenngleich dieselben ein etwas höheres Güteverhältnis versprechen, als die, seitdem von der Firma Schuckert & Co. in einem neuen Projekte in Vorschlag gebrachten, Gleichstromtransformatoren, in denen die primäre und sekundäre Wickelung auf zwei getrennten Ankern angebracht ist. Dagegen liegt kein Grund vor, anzunehmen, dass ein Gleichstromtransformator letzterer Konstruktion in Bezug auf Betriebssicherheit und Zuverlässigkeit sich nicht bewähren werde.

20. Stromlieferung für elektrochemische Zwecke. Für elektrochemische Arbeiten ist fast in allen Fällen ein starker

[1]) Vgl. S. 18 ff.

Strom von geringer Spannung erforderlich. Es wird daher, gleichgiltig welches Stromsystem zum Betriebe der Centrale Verwendung findet, fast nie möglich sein, den zum Betriebe elektrochemischer Processe erforderlichen Strom direkt aus den Leitungen der Centrale zu entnehmen; zumeist dienen besondere Maschinen zur Umwandlung der in der Centralanlage vorkommenden, allgemeinen elektrischen Verhältnisse in jene besonderen, welche die einzelne elektrochemische Arbeitsstätte erfordert.

V. Kapitel.

Hilfsapparate.

82. Sicherungen. Die Sicherungen bestehen aus Staniolblättchen, Blei-, Kupfer- und anderen Drähten und Streifen und haben den Zweck, durch Abschmelzen den Stromkreis, in welchem sie eingeschaltet sind, zu unterbrechen, wenn die Temperatur des Leiters eine gewisse Grenze überschritten hat. Eine elektrische Anlage mit gut bemessenen, und an den richtigen Orten angebrachten, Sicherungen schützt vollkommen gegen, infolge zu hoher Stromstärken mögliche, Feuersgefahr.

Sicherungen werden überall dort angebracht, wo Leitungen abzweigen und ein Querschnittswechsel in der Drahtstärke der Leitung platzgreift.

Diese Regel stellt folgende Anforderungen:

1. Die Sicherungen sind nicht nur in dem zu schützenden Stromkreise, sondern auch direkt an dem Orte der Abzweigung, beziehungsw. Querschnittsänderung anzubringen; diese zweckentsprechende Anordnung der Sicherungen zeigt Fig. 77, in welcher die Sicherungen mit S_1, S_2, S_3 u. s. w. bezeichnet erscheinen. S_1 und S_2 sind in unmittelbarer Nähe der Bürsten der Maschine angebracht.

Werden die Sicherungen, wie z. B. in Fig. 78 bei S_3 und S_4, angebracht und es entsteht zwischen X und Y ein metallischer Schluss, so ist der Stromkreis der Lampen, welcher bei a und b abzweigt, zwischen X und Y kurzgeschlossen, der Strom fließt nicht mehr durch die Lampen, sondern von der Maschine nach b, Y, X, a zur Maschine zurück. Die Leitungen zwischen a und X sowie zwischen b und Y werden sich sehr stark erwärmen oder abschmelzen. Bei kleineren Anlagen verhindern die, mit diesem Abschmelzen verbundene, Feuersgefahr häufig die Sicherungen S_1 und S_2 an der Dynamo.

2. Die Sicherungen müssen in beiden Leitungen, wie in Fig. 77, angebracht sein.

In Fig. 79 ist nur je eine Leitung geschützt. Entsteht in diesem Falle z. B. zwischen *X* und *Y* oder bei *X* ein Schluss, so ist die Leitung, zwischen *a* und *Z* oder *a* und *X*, in Gefahr.

Die Gefahr des Abschmelzens der Leitungen wird noch größer, wenn die Sicherungen nicht in derselben Leitung, sondern die eine in der positiven, die andere in der negativen u. s. w. Leitung angebracht ist, wie es Fig. 80 zeigt.

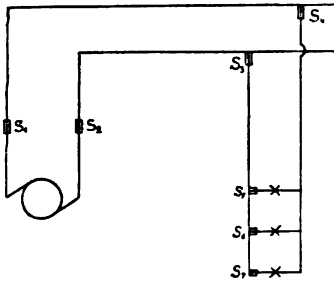


Fig. 77.

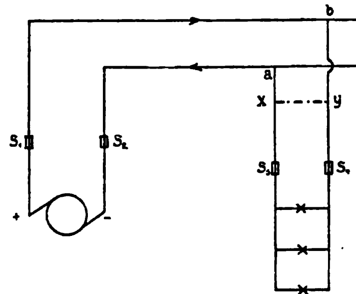


Fig. 78.

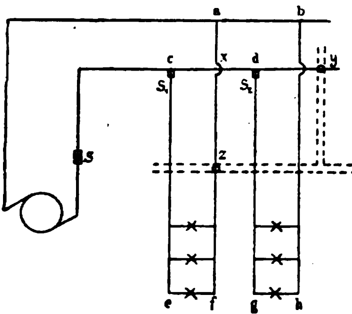


Fig. 79.

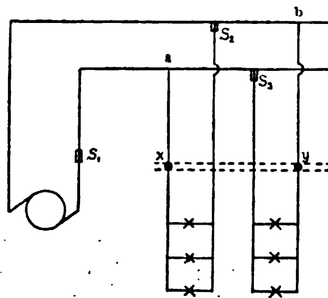


Fig. 80.

In diesem Falle kann, außer dem Schlusse in der letzten Figur, zwischen den Zweigleitungen bei *X* und *Y* kurzer Schluss entstehen und die Leitung zwischen *a* und *X* sowie *Y* und *b* abschmelzen. Entsteht in Fig. 79 zwischen den Zweigleitungen *a f e c* und *b h g d* Schluss, so ist entweder S_1 oder S_2 eingeschaltet und schmilzt ab.

Wo thunlich sind die Sicherungen leicht zugänglich anzubringen und, insbesondere in feuchten Räumen, äußerst sorgfältig zu isoliren. An feuergefährlichen Orten muss man eigens konstruirte Sicherungen anbringen, die das Herausfallen des abgeschmolzenen Metalles verhindern.

In Räumen, in denen sich leicht entzündliche Gase befinden, dürfen Sicherungen nicht aufmontirt werden.

Der Anschluss der Sicherungen an die Leitung erfolgt durch Verschraubung, Oesen, Muffen u. s. w. Die Oesen sind, wie bei sämmtlichen Anschlüssen, so zu legen, dass das Ende der Oese nach der Drehungsrichtung der Schraube zeigt, wie es in Fig. 81 abgebildet ist. Das Material, welches den Abschmelzdraht umgibt, soll feuerbeständig, jeder Kontakt metallisch rein und vollkommen sein. Die Beanspruchung des Materiales der Sicherungen für 1 *mm*² ist insbesondere bei Bleisicherungen sehr verschieden, da sich der Schmelzpunkt der verschiedenen Fabrikate innerhalb weiter Grenzen ändert.

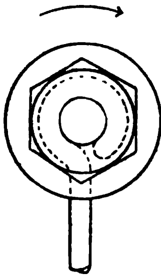


Fig. 81.

Die Manipulation beim Erneuern der Sicherung muss einfach sein und kann dadurch erfolgen, dass man entweder den Stromkreis der Sicherung ausschaltet oder durch einen Nebenschluss, welcher gegen dieselbe Stromstärke schützt, schließt.

Die wichtigste, beim Einsetzen einer Sicherung während des Betriebes zu beachtende, Regel lautet:

Die Sicherung darf unter keinen Umständen durch eine stärkere Sicherung ersetzt werden, als es der Durchmesser des zu schützenden Drahtes zulässt.

Nur zu häufig kommt es vor, dass man sich vor dem Abschmelzen der Sicherungen dadurch zu helfen sucht, indem man dieselben durch solche von größerem Querschnitte ersetzt und so die Leitungen und die Maschine in Gefahr bringt.

Zusammengehörige Werte von Durchmessern und Querschnitten von Kupferdrähten, zulässigen Betriebsstromstärken, Durchmessern, Querschnitten und Längen von Bleidrähten gibt die rechtsseitige, von mir nach zahlreichen Versuchen zusammengestellte Tabelle; je nachdem die maximale Stromstärke in einer Leitung 1, 125 oder 820 Ampère beträgt, werden nach dieser Tabelle Staniole, Bleidrähte oder Bleistreifen verwendet.

Nach der, in rechtsseitiger Tabelle angenommenen, Beanspruchung beträgt die Erwärmung der Drähte rund 20° *C.* Für die Bemessung der Bleisicherungen sind die, in dieser Tabelle angegebenen, Stromstärken maßgebend. Für die Stromstärke von 70 Ampère z. B. gibt die Tabelle als Bleisicherung einen 3 *mm* Bleidraht (7 *mm*² Querschnitt) von 50 *mm* Länge an.

Drahttabelle.

Durchmesser des Kupferdrahtes in *mm*	Querschnitt des Kupfers in mm^2	Höchste zulässige Betriebsstromstärke in Ampère	Durchmesser des Bleidrahtes in *mm*	Querschnitt des Bleies in mm^2	Länge des Bleidrahtes in *mm*
0·2	0·03	0·5	1 × 0·02	0·02	20
0·5	0·2	1·0	2 × 0·02	0·04	20
0·6	0·28	2·0	0·3	0·07	20
0·7	0·38	3·0	0·4	0·12	20
0·8	0·5	4·0	0·5	0·19	20
1·0	0·8	5·5	0·6	0·3	20
1·2	1·2	7·5	1·0	0·78	20
1·5	1·8	11·5	1·2	1·25	30
2·0	3·1	17·0	1·5	1·77	30
2·5	4·9	28·0	1·8	2·54	30
3·0	7·0	35·0	2·0	3·14	30
3·5	9·6	45·0	2·3	4·19	40
4·0	12·5	56·0	2·5	4·9	40
4·5	15 9	70·0	3·0	7·0	50
5·0	19·6	85·0	3·5	9·6	50
5·5	23·0	90·0	4·0	12·5	50
6·0	26·6	103·0	4·3	14·0	50
6·1	29·3	110·0	4·5	15·9	50
6·3	31·0	118·0	4·7	17·5	50
6·6	33·6	125·0	5·0	19·6	60
7·0	39·0	140·0	2 × 11	22·0	60
7·4	43·0	150·0	2 × 13	26·0	60
7·6	47·0	160·0	2 × 14	28·0	60
7·9	48·4	166·0	2 × 15	30·0	60
8·3	54·0	180·0	2 × 16	32·0	60
8·4	55·0	183·0	2 × 17	33·0	60
8·8	60·6	192·0	2 × 17	34·0	70
9·1	65·0	205·0	2 × 18	36·0	70
9·8	76·0	225·0	3 × 14	42·0	70
10·5	87·0	250·0	3 × 16	48·0	70
11·2	99·0	275·0	3 × 18	54·0	70
11·9	111·0	295·0	3 × 20	60·0	80
12·5	125·0	322·0	4 × 18	72·0	80
13·3	139·0	350·0	5 × 15	75·0	80
14·0	154·0	378·0	5 × 17	85·0	80
15·0	175·0	412·0	5 × 18	90·0	80
16·0	200·0	450·0	5 × 20	100·0	80
18·0	250·0	520·0	5 × 26	130·0	80
19·5	300·0	590·0	5 × 30	150·0	90
21·0	350·0	645·0	6 × 29	174·0	90
22·5	400·0	710·0	8 × 25	200·0	90
24·0	450·0	760·0	8 × 29	232·0	90
25·0	500·0	820·0	8 × 33	264·0	90

Die Ursachen des Abschmelzens der Sicherungen sind:

1. Zu hohe Beanspruchung des zu schützenden Drahtes durch Schluss in seiner Leitung. In diesem Falle ist der betreffende Stromkreis auszuschalten, die Leitung an den Abzweigepunkten von der nächststärkeren Leitung zu trennen und auf Isolation zu prüfen. Erst wenn die Isolation vollkommen entspricht, darf der Anschluss wieder vorgenommen werden. Der metallische Schluss zwischen Leitungen erfolgt häufig durch Gas- und Wasserleitungsröhren, Beleuchtungskörper und schlechte Isolation der Drahtkreuzungsstellen.

2. Zu starke Beanspruchung der Leitung durch zu hohe Stromstärken; dann ist in der Regel die Maschinenspannung zu hoch oder es sind, z. B. in Bogenlichtanlagen, die Vorschaltwiderstände zu klein.

3. Die unrichtige Bemessung der Sicherungen. Für die richtige Bemessung der Leitungen sind die, von einzelnen Firmen, mit den Sicherungen angestellten Schmelzversuche maßgebend.

Einfache und leicht auswechselbare Sicherungen sind in den Fig. 82 bis 91 in Egger- und Edison-Sicherungen dargestellt.

Fig. 82 zeigt eine Staniolsicherung für ein oder zwei Glühlampen, je nachdem der Querschnitt des Staniolstreifens $1 \times 0{\cdot}02$ oder $2 \times 0{\cdot}02$ *mm* beträgt. Der Staniolstreifen S liegt auf dem Schieferstücke P und wird durch die Schraube s_1 und das Messingstück t_1 einerseits, und durch die Schraube s_2 und das Messingstück t_2 andererseits, festgehalten. Die Schrauben s_3 und s_4 dienen zum Anschlusse der Sicherung an dem Orte der Querschnittsänderung der Leitung. Die Sicherung ist von der Glashülse G eingeschlossen.

Die in den Fig. 83 bis 85 gezeichnete Sicherung besteht aus den Messingstücken t_1 und t_2, welche bei m_1 und m_2 Fassungen besitzen. In die Fassungen, deren Querschnitt Fig. 85 zeigt, wird ein Pressspahn mit einem Staniolstreifen p eingesteckt. Das Auswechseln des Stanioles geschieht durch einfaches Herausnehmen und Einstecken des Pressspahnes mit dem Staniol aus und in die Fassungen m_1 und m_2. Durch die Schrauben s_3 und s_4 wird die Sicherung isolirt aufgeschraubt und durch die Schrauben s_1 und s_2, an dem Orte der Querschnittsänderung, eingeschaltet.

Bei der Sicherung in Fig. 86 sind in einem Porzellan- oder Thonnapf N zwei Messingstücke t_1 und t_2 eingeführt. Die Schrauben s_1 und s_2 vermitteln den Anschluss an die Leitung, die Schrauben s_3 und s_4 an die Sicherung.

In der Dosensicherung von B. Egger & Co., Fig. 87 und 88, erfolgt der Anschluss an die Leitung durch die Klemmschrauben K_1 und K_2. Der Hauptbestandtheil der Sicherung ist eine einsteckbare

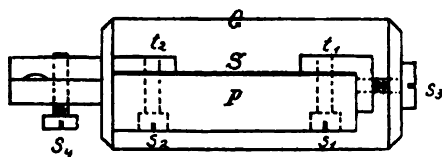


Fig. 82.

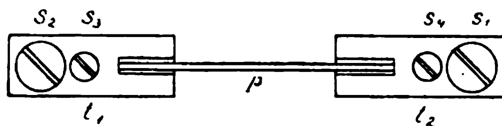


Fig. 83.

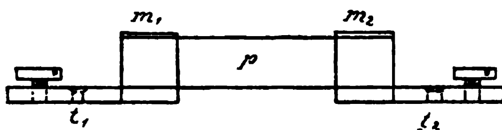


Fig. 84.

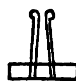


Fig. 85.

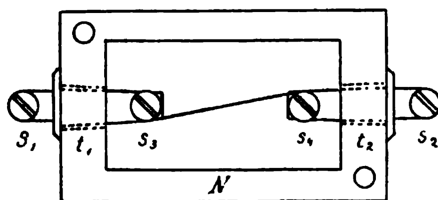


Fig. 86.

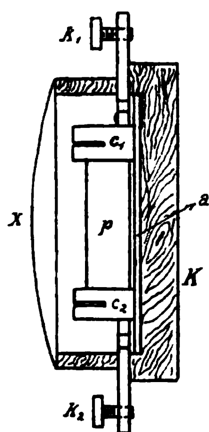


Fig 87.

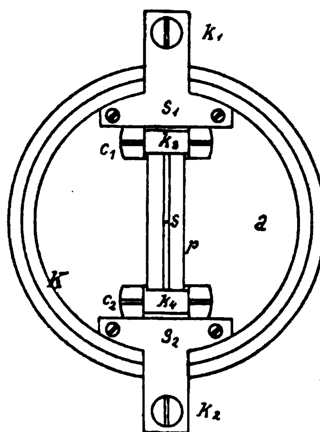


Fig. 88.

Patrone p, auf welcher das Staniol s durch die Kappen K_3 und K_4 und die Schrauben s_1 und s_2 zu befestigen ist. Durch Einschieben der Patrone, zwischen die federnden Kontakte c_1 und c_2, wird die Leitung gesichert. Das Holzgehäuse K ist durch ein, unterhalb der Patrone angebrachtes, Asbestpapier a gegen Verkohlen oder Verbrennen geschützt. Die Befestigung des Deckels X auf dem Holzgehäuse K besorgen zwei Holzschrauben.

Eine insbesondere für Schaltbretter praktisch verwendbare Sicherung ist in Fig. 89 in der Vorderansicht, in Fig. 90 in der Seitenansicht, theilweise im Schnitte, theilweise in der Außenansicht dargestellt.

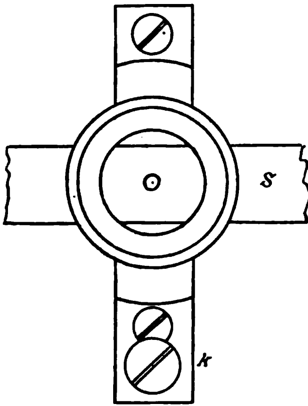


Fig. 89.

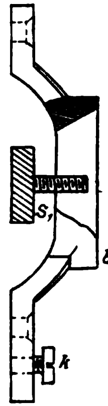


Fig. 90.

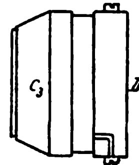


Fig. 91.

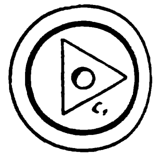


Fig. 29.

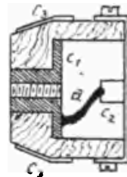


Fig. 93.

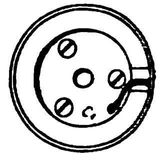


Fig. 94.

In dem Stöpsel derselben, Fig. 91 bis 94, ist der Abschmelzdraht a zwischen den Kontakten c_1 und c_2 c_3 angebracht. Der Kontakt c_1 besteht aus einem mit Muttergewinde versehenen, in der Fig. 92 dreikantig dargestellten, in Holz gefassten Messingstücke, der Kontakt c_2 c_3 aus der konischen Kupferhülse c_3, welche in den konisch ausgehöhlten Bügel b dicht einpasst. Der Bleidraht a ist an c_1 und c_2 angelöthet und von c_1 nach c_2 in Gips geführt. Den Verschluss des Stöpsels bildet der, mit Bajonettverschluss versehene, Messingdeckel D. Der Strom fließt, bei eingeschalteter Sicherung, von der Leitungsschiene S, durch die Schraube und den Kontakt c_1, durch das Blei, zu dem Kontakte c_2 c_3, in den Bügel b und dessen Klemmschraube k in die äußere Leitung.

Fig. 95 gibt das Bild einer zweipoligen (bipolaren) Sicherung wieder. Die Klemmen k_1 und k_2 sind in die eine, die Klemmen k_3 und k_4 in die andere Leitung eingeschaltet. Die Sicherungen befinden sich in den, oben in den Fig. 91 bis 94 beschriebenen, Stöpseln S_1 und S_2.

Eine, beide Pole einer Abzweigung l_1 l_2 schützende, Sicherung zeigt Fig. 96; in derselben führt der Stromweg von der Hauptleitung L_2, durch die konische Kupferhülse c_1, das Messingstück m, die Schraube s_1 zur Leitung l_2 und von der Leitung L_1, durch die Sicherung S_1, die in der Zeichnung punktirte, in einer, mit Paraffin getränkten, Nut am Boden der Porzellanunterlage H befindliche Leitung l_3, zur Schraube s_2 und Leitung l_1.

Eine doppelte Abzweigung mit zweipoligen (bipolaren) Sicherungen ist in Fig. 97 dargestellt. Der Stromverlauf dieser Sicherung ist aus den Pfeilen in der Figur ersichtlich. Die Stöpsel S_1 und S_3 gehören der einen, die Stöpsel S_2 und S_4 der anderen Abzweigung an. Bezüglich ihrer Beschreibung sei ebenfalls auf Fig. 97 verwiesen.

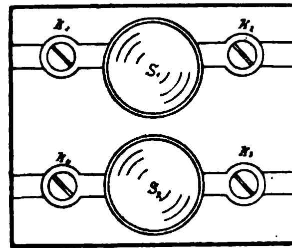


Fig. 95.

Die Sicherung der Hauptleitungen und Leitungen für hohe Stromstärken besorgt zweckentsprechend der Blei- oder Kupferschutz Fig. 98. In die Muttergewinde der Messingklötzchen k_1 und k_2 sind die Leitungs-

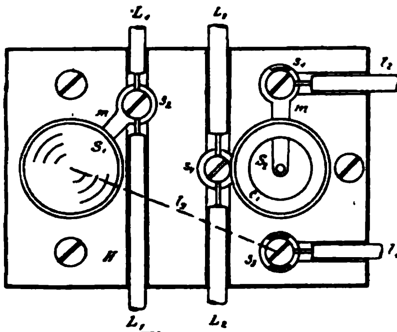


Fig. 96.

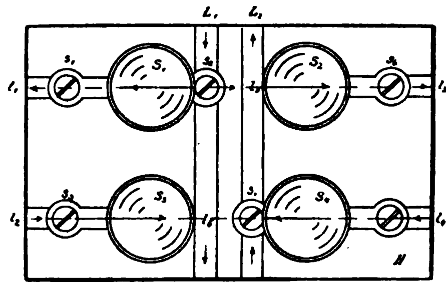


Fig. 97.

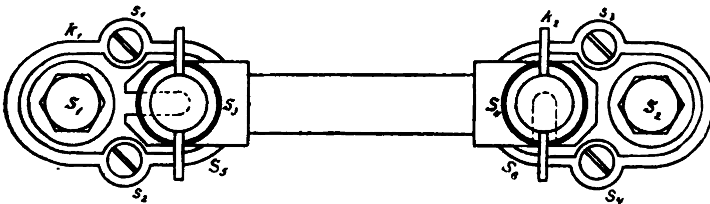


Fig. 98.

schrauben S_1 und S_2 eingeschraubt. Um große Querschnittsverminderungen der Sicherung, durch den Druck der Schrauben an der Einklemmstelle derselben, bei S_3 und S_4 zu verhindern, sind dieselben durch die Unterlagsscheiben S_5 und S_6 geschützt. Die Messingklötzchen werden entweder auf dem Schaltbrette oder Polbrette der Maschine durch die Schrauben s_1, s_2, s_3 und s_4 aufmontirt. Unterhalb der Sicherung befindet sich eine Lage Asbest. Diese Sicherungen sind häufig mit einem, behufs Lüftung mit Oeffnungen versehenen, Metallgehäuse umgeben.

Bleisicherungen von Siemens & Halske.

Walzblech 1 *mm* dick. 6 Ampère für 1 *mm*². Maße in *mm*.

Ampère	Streifen-		Ampère	Streifen-	
	Breite	Länge		Breite	Länge
6	1·0	45	84	14	65
9	1·5	45	90	15	65
12	2·0	45	96	16	65
15	2·5	45	102	17	65
18	3·0	45	108	18	65
21	3 5	45	114	19	65
24	4·0	45	120	20	65
27	4·5	45	130	2 × 11	65
30	5·0	45	140	2 × 12	65
33	5·5	45	150	2 × 13	80
36	6·0	45	160	2 × 14	80
39	6·5	45	170	2 × 14·5	80
42	7·0	45	180	3 × 10	80
45	7·5	65	190	3 × 11	80
48	8·0	65	200	3 × 11·5	80
51	8·5	65	210	3 × 12	80
54	9·0	65	220	3 × 12·5	80
57	9·5	65	230	3 × 13	80
60	10	65	240	3 × 13·5	80
66	11	65	250	3 × 14	80
72	12	65	260	3 × 14·5	80
78	13	65	270	3 × 15	80

Die Bleidrähte der allgemeinen Elektricitätsgesellschaft in Berlin bestehen aus einer Legierung von 3 Theilen Blei und 2 Theilen Zinn.

83. Blitzschutzvorrichtungen. Zum Schutze elektrischer Leitungen, Maschinen, Motoren, Transformatoren und sonstiger Einrichtungen, sowie zum Schutze des Lebens des Betriebpersonales, dienen in der Regel, für niedrige Spannungen und schwache Ströme, dieselben Vorrichtungen wie in der Telegraphie [1])

[1]) H. Schellen (Josef Kareis), Die elektromagnetische Telegraphie, 1888, Seiten 1113 ff.

Der einfachste Blitzschutz besteht aus zwei Metallplatten, welche einander mit geriefelten Flächen gegenüberstehen. Die zu schützende Leitung schließt man an die eine Metallplatte an und stellt von der zweiten Metallplatte eine leitende Verbindung zur Erde her.

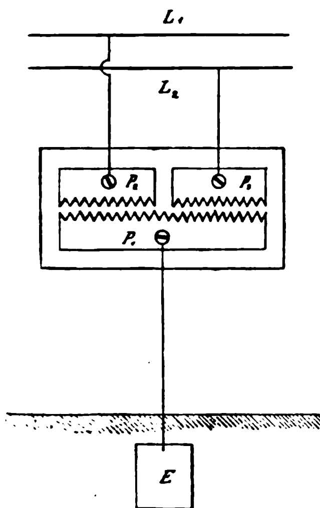


Fig. 99.

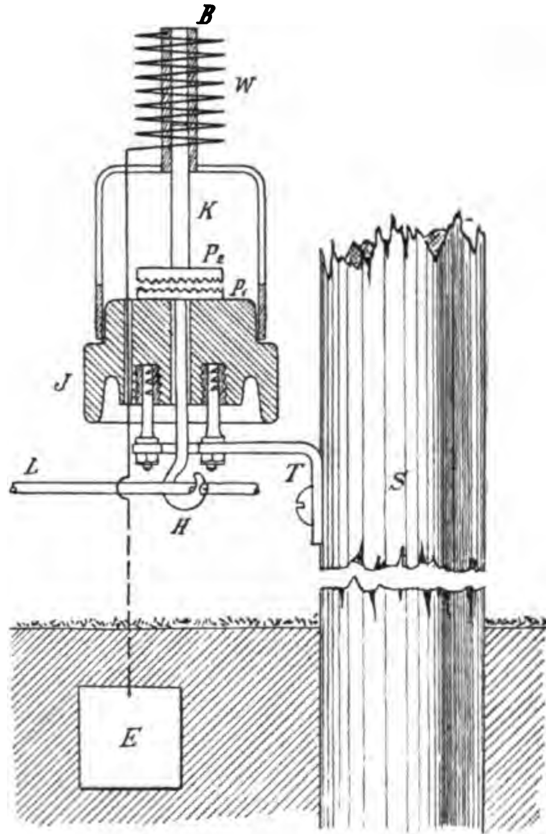


Fig. 100.

Will man, sowie es Fig. 99 darstellt, zwei Leitungen L_1 und L_2 durch einen einzigen Blitzableiter schützen, so wird zumeist eine lange, geriefelte Metallplatte P_1 zwei kürzeren P_2 und P_3 gegenüber angeordnet. P_1 dient als gemeinsame Erdleitung; von ihr führt ein Leiter zu einer Erdplatte E. Die Erdleitung schließt man entweder an eine, in stets feuchter Erde befindliche, Kupferplatte von etwa 1 m^2 Oberfläche, oder besser an eine Gas- oder Wasserleitung metallisch an. Die Platte P_2 ist mit der zu schützenden Leitung L_1, die Platte P_3 mit

der zu schützenden Leitung L_2, fest verbunden. Der gegen atmosphärische Blitzentladungen (I. Seite 47) verhältnismäßig stets niedrig gespannte Strom in der Leitung erscheint durch den Luftraum zwischen den Platten genügend isolirt, während die hochgespannten Blitzentladungen auf dem kürzeren Wege durch den Blitzschutz in die Erde übergehen. Durch das Ueberspringen einer Blitzentladung zwischen den Blitzplatten schmelzen dieselben meist zusammen, so dass eine Erdleitung von ganz geringem Widerstande entsteht. Hat sich der Blitz gleichzeitig durch beide Pole der Leitung entladen, dann sind die Leitungen L_1 und L_2 auf dem Wege über L_1 P_2 P_1 P_3 L_2 kurz geschlossen und es erfolgt ein augenblickliches Abschmelzen der, in der Leitung L_1 L_2 befindlichen, Bleisicherung.

Siemens & Halske bauen einen Blitzableiter mit selbstthätiger Funkenlöschung, Fig. 100, welcher Kurzschlüsse im Apparate selbst verhindert. Dieser Blitzschutz besteht aus einem Porzellanisolator I sammt Träger T; der letztere dient zum Aufmontiren des Apparates auf die Leitungsstange S, an Mauern u. s. w. Durch den Isolator führt eine metallische Verbindung einerseits zu der geriefelten Blitzplatte P_1, andererseits zu dem, mit der zu schützenden Leitung L verschraubten, Häkchen H. Die zweite geriefelte Blitzplatte P_2 wird von einem Eisenkerne K getragen, welcher innerhalb eines Solenoides W in einer Metallbüchse B geführt erscheint. Das eine Ende der Windungen des Solenoides W ist metallisch an die Büchse B, das andere Ende an die Erdplatte E angeschlossen. Diese Blitzschutzvorrichtung arbeitet wesentlich so, wie die zuletzt beschriebene; ein Kurzschluss durch zwei Apparate ist hier dadurch vermieden, dass im Falle der Blitz sowohl die Hin- als auch die Rückleitung (also zwei Apparate) trifft, der Maschinenstrom durch die Apparate fließt, den Eisenkern an- und den zwischen den Platten entstehenden Lichtbogen abreißt.

Luftleitungen sind durch Blitzschutzvorrichtungen an jenen Stellen zu schützen, an welchen sie in Gebäude eintreten oder an Kabel angeschlossen sind. Leitungen, welche durch mehrere Stockwerke alleinstehender Gebäude führen, schützt man vortheilhaft durch eine, von beiden Polen des Schaltbrettes der Maschinenanlage abgezweigte Blitzschutzvorrichtung.

Blitzschutzvorrichtungen arbeiten nur dann zuverlässig wenn der Widerstand der Erdleitung höchstens 10 Ohm beträgt.

Ebenso wie die obigen Apparate schützt ein über den Kupferleitungen geführter, sogenannter Stacheldraht letztere vor Blitzschlägen. Von diesem werden in bestimmten Entfernungen, mindestens an jeden 5. Mast, Erdleitungen zu Erdplatten geführt. Die

Stacheldräthe windet man häufig auch um die Leitungsstangen herum, um das Ersteigen derselben möglichst zu verhindern.

Blitzschutzvorrichtungen und Stacheldrähte können auch gleichzeitig Verwendung finden.

84. **Die Schaltvorrichtungen** haben den Zweck:

1. Den Stromkreis zu schließen oder zu öffnen (Ausschalter).

2. Denselben Strom in zwei oder mehreren Leitungen zu benützen (Umschalter und Nachschalter).

3. Die Richtung des Stromes umzukehren (Polwechsler).

4. Jeden Maschinenkreis mit jedem Lampenkreise beliebig zu verbinden (Generalumschalter).

Grundbedingungen für den Bau dieser Vorrichtungen sind:

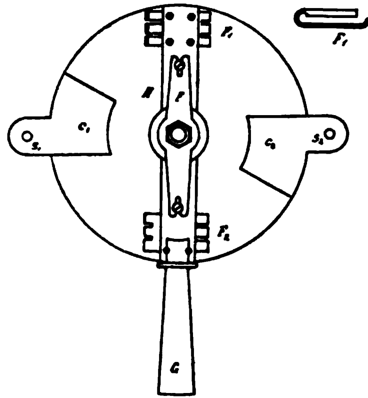


Fig. 101.

1. Die Abmessungen der Kontakte, zwischen den festen und den beweglichen Theilen, müssen reichlich bemessen sein. Die zulässige Beanspruchung für die Flächenberührung an den Kontakten ist durch die Art der Konstruktion bedingt und nie größer als 1 Ampère für 1 mm^2.

2. Der Kontakt zwischen den festen und beweglichen Theilen muss derart sein, dass selbst bei den größten Stromstärken keine Erwärmung desselben eintritt, was nur durch eine äußerst präcise mechanische Ausführung dieser Vorrichtungen erreicht werden kann.

3. Das Oeffnen der Schalter muss sehr schnell und genügend weit erfolgen, weil dadurch zu lange Oeffnungsfunken oder gar Lichtbögen zwischen den festen und beweglichen Theilen vermieden werden können. Bezüglich der Funken beim Einschalten der Schaltevorrichtungen ist keine weitere Vorsichtsmaßregel von Belang.

Von den zahllosen Konstruktionen der Schalter seien in den nächsten Figuren einige, häufig in Verwendung stehende, Vorrichtungen wiedergegeben.

Fig. 101 stellt einen Ausschalter einfachster Konstruktion, für beliebige Stromstärken, dar.

Dieser Ausschalter ist auf ein Holzbrett, auf Schiefer, Porzellan, Glas u. s. w. aufmontirt und besteht im wesentlichen aus zwei Metallkontaktstücken c_1 und c_2, welche an die unterbrochene Leitung bei s_1

und s_2 angeschlossen sind. Das Ein- und Ausschalten wird mittelst des Hebels $G\ H$ besorgt, welcher aus dem Metalltheile H und dem Griffe G zusammengesetzt ist. Der Metalltheil H wird mittelst einer, im Mittelpunkte des Ausschalters befindlichen, Kontaktmutter und der Feder F niedergedrückt, so, dass eine innige Berührung zwischen den Kontakten c_1 und c_2 und den an dem Metallhebel H befestigten Metallfedern F_1 und F_2 entsteht.

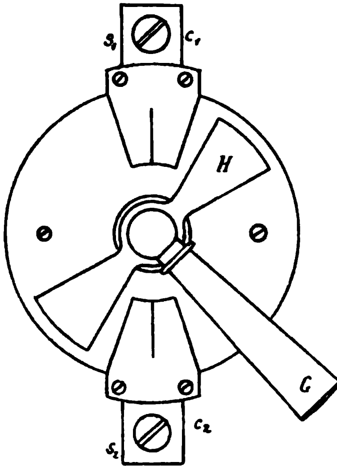
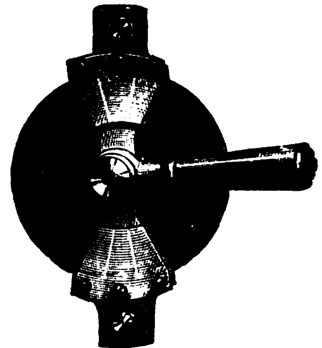


Fig. 102.


Fig. 103.

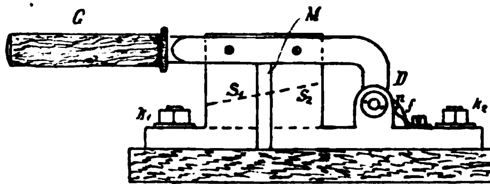


Fig. 104.

In dem in Fig. 102 abgebildeten Ausschalter sind die Kontaktstücke c_1 und c_2, behufs Herstellung einer guten federnden Berührung, in zwei, auf einander senkrechten, Richtungen gespalten.

Fig. 103 stellt ein perspektivisches Bild einer ähnlichen Konstruktion vor.

Der Hebel des Messerausschalters in Fig. 104 hat bei D seinen Drehpunkt und wird an den Klemmen k_1 und k_2 eingeschaltet. Man schließt den Ausschalter, indem man das Metallstück M des Hebels $G\,M$ zwischen die gespalteten Metallstücke S_1 und S_2 bewegt. Das

Einschalten des Hebels, infolge seines eigenen Gewichtes, verhindert die Feder *f* und die Nase *n*.

In den vorangehenden Ausschaltern wurde nur eine Leitung und zwar die positive oder negative unterbrochen (unipolare oder einpolige Ausschalter), während in dem Ausschalter, welcher in Fig 105 skizzirt ist (bipolarer oder zweipoliger Ausschalter), beide Leitungen dadurch ausgeschaltet werden, dass man das Verbindungsstück *S* solange nach rechts bewegt, bis die Hebel H_1 und H_2 von den Kontaktknöpfen k_1 und k_3 auf k_2 und k_4 zu liegen kommen.

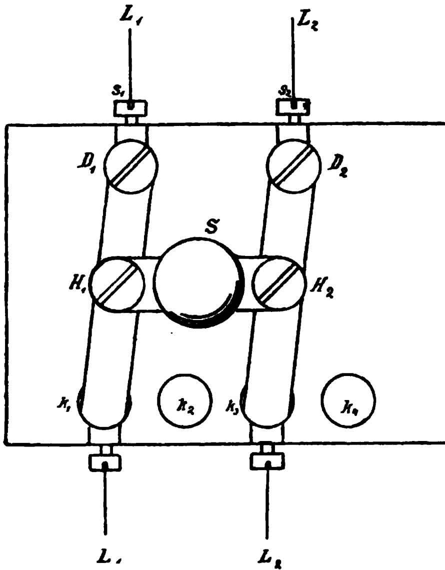


Fig. 105.

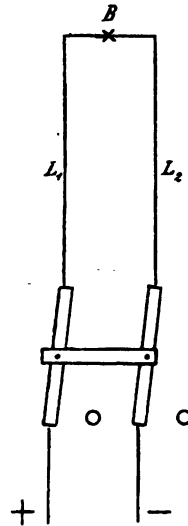


Fig. 106.

Das Verbindungsstück *S* besteht aus einem isolirenden Materiale. Die Hebel H_1 und H_2 sind, wie die Kontaktknöpfe k_1, k_2, k_3 und k_4 und die Anschlüsse s_1 D_1 und s_2 D_2, aus Metall. Bei D_1 und D_2 befinden sich die Hebeldrehpunkte.

Fig. 106 stellt die Verbindung des letzten Ausschalters mit den Leitungen L_1 und L_2 und der Lampe *B* schematisch dar.

In den folgenden Figuren 107 bis 112 sind Ausschalter für niedere Stromstärken wiedergegeben.

Der Ausschalter in Fig. 107 besteht aus zwei Metalltheilen M_1 und M_2 mit den Anschlussschrauben s_1 und s_2. Der metallische Schluss zwischen den Metalltheilen erfolgt durch den Stöpsel, Fig. 108.

Der Patentausschalter von B. Egger & Co., Fig. 109 und 110, benützt zum raschen Unterbrechen eines Stromkreises die Spannkraft der Feder *f*. Der Anschluss der Leitung erfolgt bei den Klemmschrauben k_1 und k_2. In der Figur ist der Stromkreis zwischen k_1 und k_2 durch die beiden Hebel H_1 und H_2 geschlossen. Dreht man den Hebel H_1, sammt dem Griffe *G*, nach rechts, so wird zwischen k_4 und dem Hebel H_1 und k_3 und dem Hebel H_2 Kontakt hergestellt,

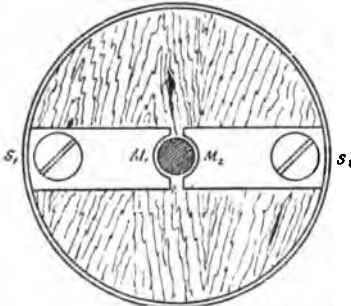


Fig. 107.

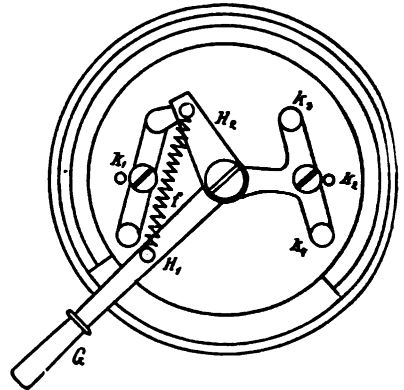


Fig. 109.

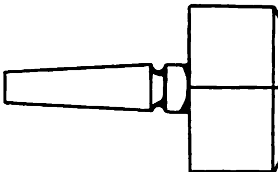


Fig. 108.

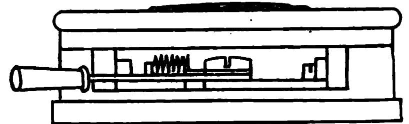


Fig. 110.

die Feder *f* befindet sich jetzt ebenfalls rechts und hat den Hebel H_2 mit sich genommen. In dieser Stellung ist der Ausschalter ausgeschaltet.

Der Ausschalter in den Fig. 111 und 112 unterscheidet sich von dem vorangehenden dadurch, dass die Hebel H_1 und H_2 fest mit einander verbunden sind und das Ausschalten an den Kontaktstellen k_1 und k_2 erfolgt, wodurch, bei gleich bemessenen Hebeln, eine geringere Funkenbildung erzielt wird; dieser Ausschalter ist zwischen den Schrauben s_1 und s_2 mit einer Sicherung *S* versehen und an den Schrauben s_3 und s_4 in die Leitung einzuschalten.

In Fig. 113 ist ein Umschalter mit 16 Kontakten abgebildet. Wird der Metallring *R* bei a an eine gemeinsame Leitung, je einer der Kontakte 2 bis 16 an eine Zweigleitung angeschlossen, so ermöglicht

dieser Umschalter die Verwendung des Stromes einer Stromquelle in 15 verschiedenen Stromkreisen. Sind zwischen den einzelnen Kontakten Widerstände w_1, w_2 u. s. w. eingeschaltet, so kann man durch Drehung

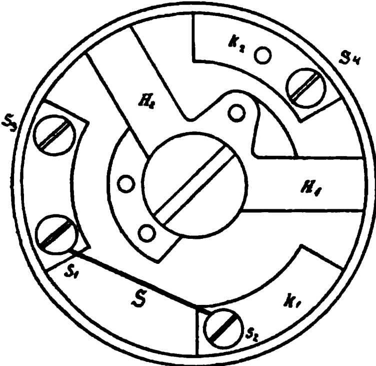
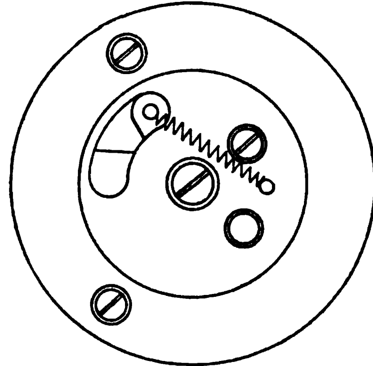


Fig. 111.


Fig. 112.

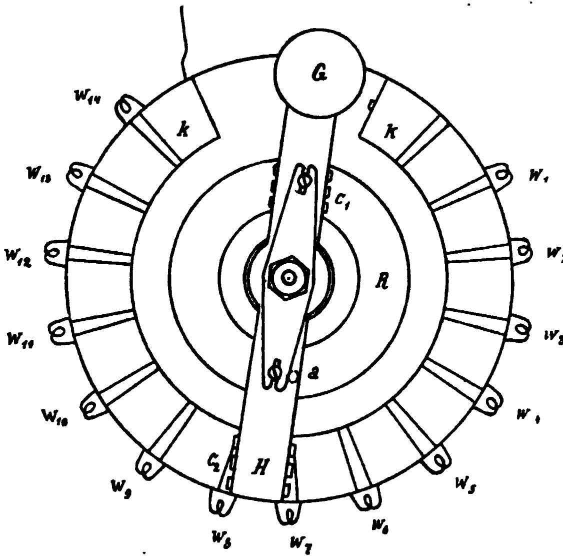


Fig. 113.

des Hebels von 2 bis 16, den Gesammtwiderstand ausschalten und den betreffenden Stromkreis kurzschließen; durch den letzteren Vorgang erfolgt das Reguliren von Stromstärken und Spannungen in Stromkreisen.

Durch zwei einfache Hebelausschalter, wie dieselben in Fig. 101 dargestellt sind, ist das Umschalten einer Maschine auf zwei Strom-

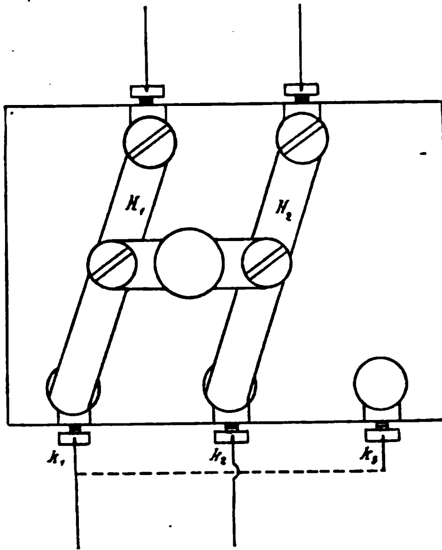


Fig. 114.

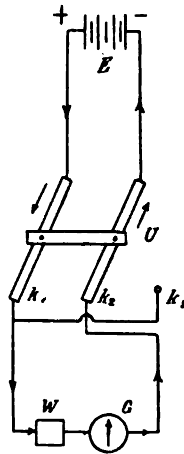


Fig. 115.

kreise durch einfaches Ein- und Ausschalten ermöglicht. Diese Schaltung durch einen Apparat besorgt zweckmäßig der Umschalter, welchen die Fig. 114 und 115 zeigen. Derselbe unterscheidet sich von dem bipolaren Ausschalter in den Fig. 105 und 106 nur dadurch, dass er statt 4 Kontaktknöpfen blos 3 besitzt. k_1 und k_3 sind mit einander leitend verbunden und bilden den einen Pol, während k_2 an dem zweiten Pole angeschlossen ist. Bei der schematischen Anordnung ni Fig. 115 fließt der Strom durch das Torsionsgalvanometer G und den Zusatzwiderstand W in der, durch die Pfeile angegebenen, Richtung. Dreht man die Hebel H_1 und H_2, Fig. 114, nach rechts, so dass dieselben auf den Kontakten k_2 und k_3 aufliegen, dann verläuft der Strom im entgegengesetzten Sinne.

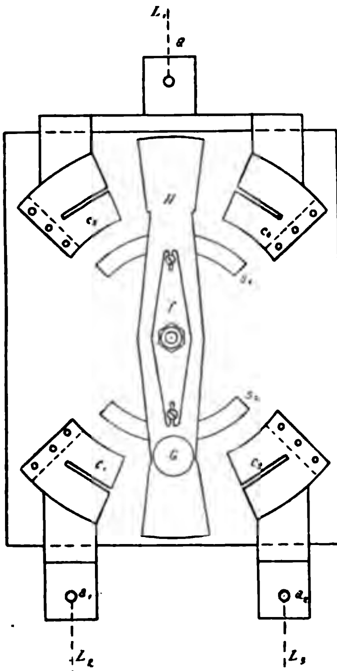


Fig. 116.

Fig. 116 gibt einen e i n p o l i g e n U m s c h a l t e r für sehr hohe Stromstärken wieder. Je nachdem der Strom aus der Leitung L_1 in die L_2 oder L_3 fließen soll, dreht man den Hebel H an dem Griffe G zwischen die Kontakte c_1 und c_4 oder c_2 und c_3. Die Kontakte c_1, c_2, c_3 und c_4 sind, behufs Herstellung einer innigen federnden Berührung mit dem Hebel H, in zwei auf einander

senkrechten Richtungen gespalten. Die Metallbögen s_1 und s_2 dienen zur Führung des Hebels *H*.

Der Voltmesserumschalter, Fig. 117 bis 119, hat den Zweck, mit einem einzigen Voltmesser die Spannungen an den verschiedenen Stellen der Leitungen zu messen. Er besteht der Hauptsache nach aus einem Hebel *H*, welcher durch den Griff *G* gedreht werden

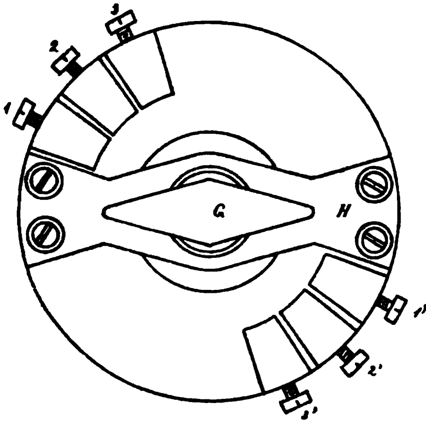


Fig. 117.

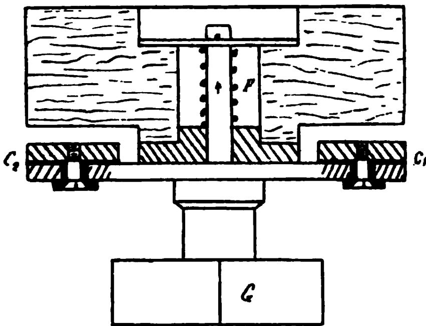


Fig. 118.

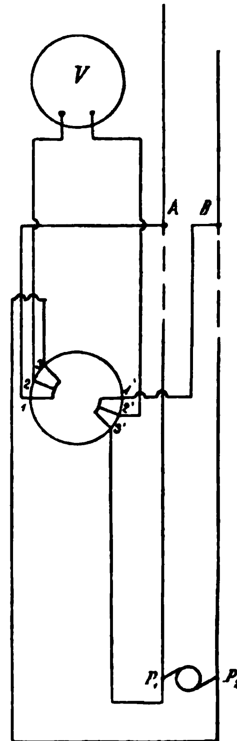


Fig. 119.

kann. An den Enden des Hebels *H* sind die Messingkontakte C_1 und C_2, Fig. 118, befestigt, welche isolirt aufgeschraubt werden und entweder auf den Metallstücken 1, 2 und 1', 2' oder 2, 3 und 2', 3' aufliegen. Einen guten Kontakt bewirkt die Spannkraft der Feder *F*, welche die Kontakte C_1 und C_2, in der durch den Pfeil angegebenen Richtung, niederdrückt. Mit diesem Ausschalter kann die Spannung an den Punkten *A* und *B* oder P_1 und P_2 gemessen werden, wenn der Volt-

messer an die Kontakte 2, 2' und die Punkte A, B, P_1, P_2, sowie es Fig. 119 zeigt, an die Kontakte 1, 1', beziehungsweise 3, 3' angeschlossen ist. Enthält der Apparat statt 6, 8, 10, 12 u. s. f. Kontakte, so kann man mittelst eines Voltmessers die Spannung an 3, 4, 5 u. s. w., beliebig weit entfernten, Orten messen. Diese Vorrichtung kann auch zur Bestimmung der Spannung bei Akkumulatorenanlagen verwendet werden; es genügt dann ein einziger Voltmesser zur Kontrollirung der Spannung an sämmtlichen Akkumulatoren.

Der in Fig. 120 dargestellte Polwechsler besteht aus den Metallklötzchen d_1, d_2, l_1, l_2 und dem Hebel mit den beiden Kontakten C_1 und C_2. Der positive Strom der Dynamo tritt z. B. bei d_1 an den Schalter, fließt, bei der in der Figur gegebenen Stellung des Hebels, durch den Kontakt C_2, nach l_2, von hier in die Bogenlampe B, in das Metallklötzchen l_1, durch den Kontakt C_1 und von d_2 zum negativen Pole der Maschine. Dreht man den Hebel an dem Griffe G um 90° nach rechts, so schließt der Kontakt C_1 die Klötzchen d_1 und l_1, der Kontakt C_2 die Klötzchen d_2 und l_2 kurz

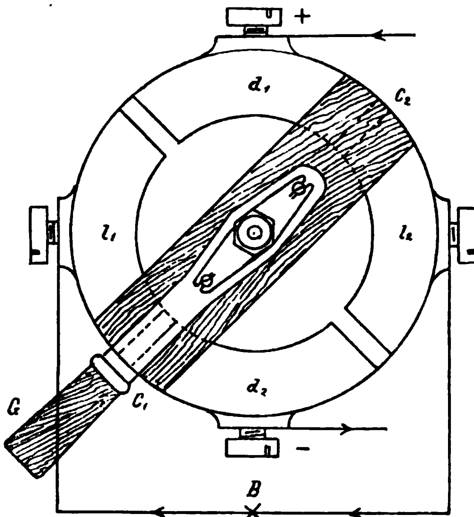


Fig. 120.

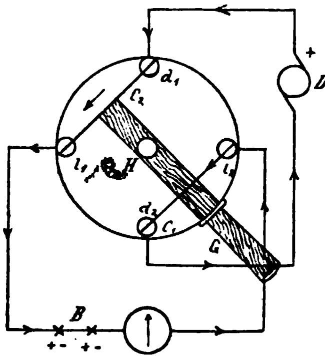


Fig. 121.

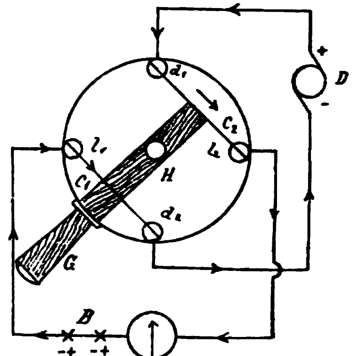


Fig. 122.

und der Strom erhält jetzt beim Durchgange durch die Lampe die entgegengesetzte Richtung.

Die Handhabung des, in den Fig. 121 und 122 abgebildeten, Polwechslers ist dieselbe, wie die des zuletzt beschriebenen; sie erscheint in den zwei, den Polwechseln entsprechenden Stellungen, Fig. 121 und 122, ersichtlich gemacht. Die Stromrichtungen geben die Pfeile an.

Einen weiteren, wesentlich gleichen Polwechsler, für hohe Stromstärken, stellt Fig. 123 dar.

Die Generalumschalter haben den Zweck, jede beliebige Maschine in jeden beliebigen Stromkreis einzuschalten. Während des Betriebes ist diese Schaltung, ohne Funkenbildung, sehr schwer zu erreichen. Der Generalumschalter in den Fig. 124 und 125 besteht, sowie sämmtliche Schalter seiner Gattung, aus 3 oder mehreren kreuzweise übereinander gelegten, von einander isolirten, Metallschienen. Die Kreuzungsstellen sind durchlöchert und können durch Kontaktstöpsel an diesen Stellen verbunden werden. Die vertikalen Schienen I II III des Umschalters U_1 sind mit den positiven Leitungen, diejenigen des Umschalters U_2 mit den negativen Leitungen der Stromquelle verbunden. Die horizontalen Schienen

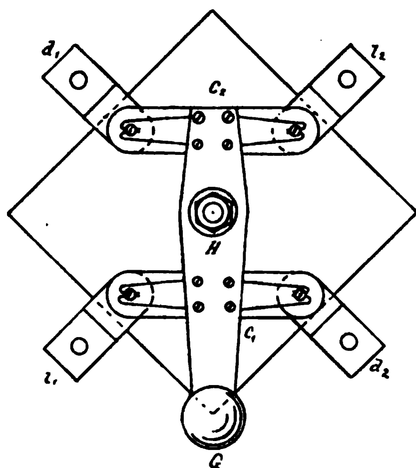


Fig. 123.

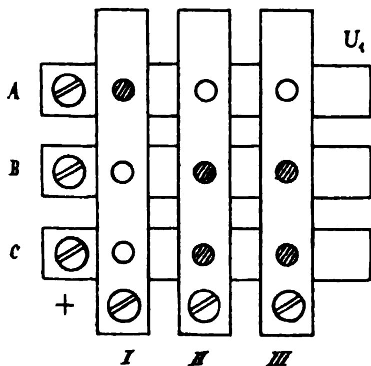


Fig. 124.

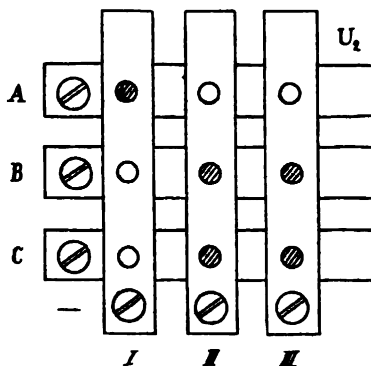


Fig. 125.

A B C sind an die betreffenden Stromkreise angeschlossen. Soll z. B. die Stromquelle *I* auf den Stromkreis *A* geschaltet werden, so sind die Kreuzungsstellen zwischen den Schienen *I* und den Schienen *A* zu stöpseln. In der Telegraphentechnik werden diese Generalumschalter (Stöpselkommutatoren), außer den Quecksilberkommutatoren, zur Kombinirung vieler Stromkreise verwendet. Sie gestatten eine Linie mit einem Apparate, 2 Linien mit einander, 2 Apparate mit einander und so weiter zu verbinden.

Eine Querschnittszeichnung des Generalumschalters von Schuckert zeigt Fig. 126. Die Anordnung der oberen und unteren Schienen entspricht der des letzten Schalters. Der Kontaktstöpsel *G S* wird in die Löcher an den Kreuzungsstellen derjenigen Schienen, die mit einander zu verbinden sind, eingeführt und sobald die seitlichen Ansätze s_1 und s_2 sich unterhalb der Schiene S_1 befinden, um 90° gedreht. Der Druck der Spiralfeder *F* dient zur Herstellung eines guten Kontaktes.

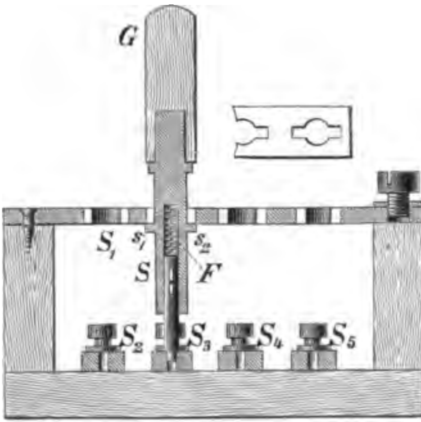


Fig. 126.

Außer den genannten Schaltern seien die Quecksilberkommutatoren erwähnt, bei welchen die einzelnen Drähte in isolirte, mit Quecksilber gefüllte Näpfe tauchen; die letzteren werden unter einander in der Regel durch Kupferbügel verbunden. Amalgamirte Drähte eignen sich ganz besonders zur Verbindung der Quecksilbernäpfe und vermindern die durch sonstige Verbindungen von Leitern entstehenden Widerstandsvergrößerungen des Stromkreises. Bei der Berührung zweier Metalle ist dieser Widerstand größer und hängt insbesondere von der Größe der Berührungsflächen und der Art der Berührung (fest oder lose) ab. Quecksilberausschalter finden bei den Magnetautomaten (I. Seiten 177 und 178), sowie bei den Automaten der ersten und zweiten Gruppe (Seite 139) Verwendung.

Die Berührungsstellen sämmtlicher Schaltvorrichtungen müssen stets metallisch rein und vollkommen anschließend erhalten werden.

VI. Kapitel.

Automaten.

85. Eintheilung. Die Automaten lassen sich in folgende Gruppen eintheilen:

1. Gruppe. Automaten, welche den Stromkreis bei zu hoher Stromstärke unterbrechen.

2. Gruppe. Automaten, welche den Stromkreis bei zu niederer Stromstärke unterbrechen.

3. Gruppe. Automaten, welche nebeneinander geschaltete Maschinen ausschalten, wenn sie anstatt Strom zu liefern, Strom (Rückstrom) empfangen.

4. Gruppe. Automaten, welche anstatt einer ausgelöschten Lampe eine bleibende Einschaltung eines Ersatzwiderstandes oder einer Ersatzlampe gestatten.

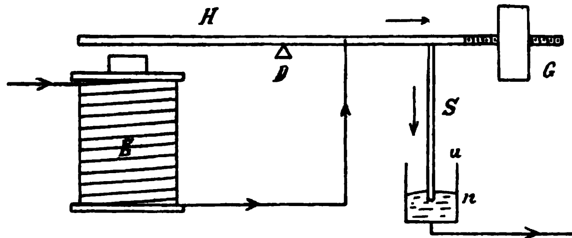


Fig. 127.

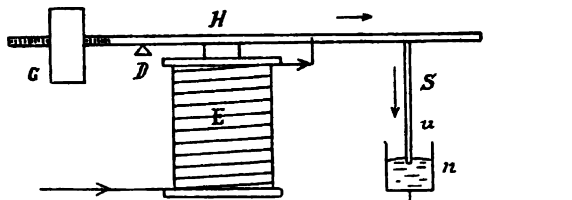


Fig. 128.

86. 1. und 2. Gruppe. Aus den Fig. 127 und Fig. 128 ist das Wesen der Apparate dieser Gruppen ersichtlich. Ein Elektromagnet *E*, ein Ankerhebel *H*, welcher bei *D* seinen Drehpunkt hat und ein Quecksilbernapf *n*, sowie das Gewicht *G* und der Kontaktstift *S* bilden die Hauptbestandtheile eines solchen Automaten.

Der Apparat in Fig. 127 schaltet aus, wenn die Stromstärke eine gewisse, normale Grenze überschritten hat; dann wird der Elektromagnet seinen Anker anziehen und den Stromkreis bei *u*, zwischen Quecksilber und Kontaktstift, unterbrechen.

Der in Fig. 128 abgebildete Automat schaltet aus, wenn die Stromstärke unter eine bestimmte Grenze herabsinkt; dann lässt der Elektromagnet den Anker los, wodurch der Stromkreis bei *u* unterbrochen erscheint.

Durch das Verschieben des Gewichtes *G* auf dem Hebel *H* ist eine beliebige Einstellung des Automaten innerhalb ziemlich weiter Grenzen für verschiedene, der Drahtstärke der Windungen des Solenoides entsprechende, Stromstärken zu erreichen.

Anstatt des Elektromagnetes *E* kann auch ein Solenoid Anwendung finden, welches durch die Einwirkung auf einen beweglichen Eisenkern das Unterbrechen und Schließen des Automaten besorgt.

Bei sämmtlichen Apparaten, welche mit Quecksilberkontakten versehen sind, tritt Funkenbildung ein. In Räumen, welche entzündliche Gase enthalten, führt schon die geringste Funkenbildung eine Entzündung herbei. Starke Funkenbildung an Quecksilberkontakten erzeugt sehr schädliche Quecksilberdämpfe. Zur Vermeidung jeder Funkenbildung an Apparaten mit obigen Kontakten habe ich im Nebenschlusse zu den Apparaten eine, entsprechend bemessene, Sicherung angebracht. Nach Unterbrechung des Kontaktes dauert es dann immer noch einen Augenblick, ehe die Sicherung abschmilzt, und es erscheint somit durch diese Anordnung, da eine Reihe von Konstruktionen funkenloserer Sicherungen bestehen, jede Funkenbildung ausgeschlossen.

87. 3. Gruppe.

Der selbstthätige Maschinenausschalter von Siemens & Halske, Fig. 129 *a* und 129 *b*, dient für Anlagen mit nebeneinander geschalteten Lichtmaschinen, von denen jede durch ihren eigenen Motor betrieben wird. Der Zweck des Ausschalters besteht darin, dass derselbe die mit ihm verbundene Lichtmaschine aus dem Gesammtstromkreise ausschließt, sobald diese Maschine infolge zufällig abnehmender Umlaufsgeschwindigkeit in der Stromerzeugung nachlässt und dadurch dem Hereindringen des Stromes der übrigen Maschinen ausgesetzt wird, so dass eine Ueberhitzung und Beschädigung derselben zu befürchten ist. Der Apparat wird durch die Vereinigung eines gewöhnlichen frei ausschnappenden Ausschalters $C_1 C_2 C_3$, mit einer selbstthätigen Auslösungsvorrichtung WAE_1E_2, gebildet. Die Kontaktstücke C_1 und C_2 des Ausschalters $C_1 C_2 C_3$ sind mit einem Arme *F* versehen, der bei Kontaktschluss unter einen Vorsprung an der Achse des Auslösungshebels *A* greift, welcher letztere sich selbst in einen Halter *H* einlegt, wodurch der Apparat geschlossen gehalten wird. Die Auslösung des Apparates besorgt das hakenförmige Ende des Ankers *A* eines sogenannten polarisirten Relais (I. Seite 189), welches aus einem hufeisenförmigen, mit wenigen Windungen eines dicken Drahtes bewickelten, Elektromagnetes E_1E_2 und dem durch eine, mit dünnem Drahte bewickelte, Widerstandsspule *W* magnetisirten, um eine senkrechte Achse zwischen den Magnet-

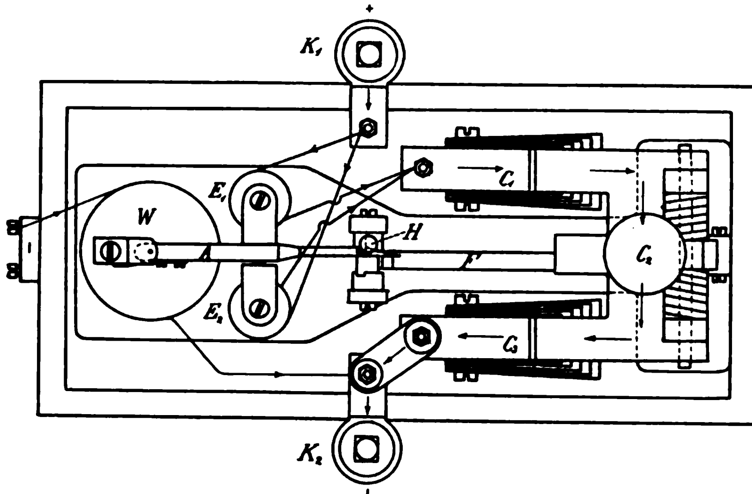


Fig. 129 a.

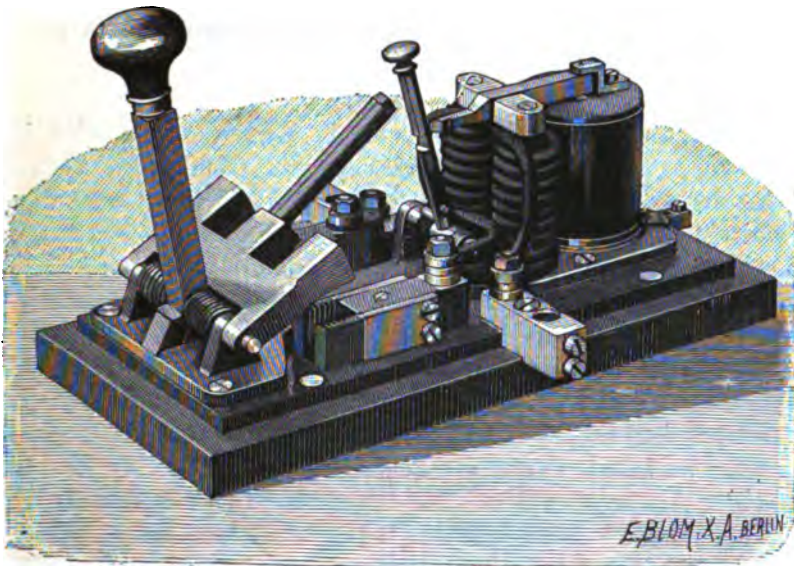


Fig. 129 b.

polen beweglichen Anker A besteht. Während die Bewickelung des Elektromagnetes, durch die Klemme K_1 und K_2, mit einer der beiden von der Maschine kommenden Hauptleitungen in Verbindung steht, ist die Widerstandsspule W des Ankers A, wie eine Glühlampe, in den Hauptstromkreis sämmtlicher Maschinen eingeschaltet, so dass nur ein

ihrem Widerstande entsprechender Bruchtheil des Stromes hindurchgeht. Solange die mit dem Apparate verbundene Lichtmaschine sich an der Stromsendung nach dem Lampenstromkreise betheiligt, indem dieselbe stromerzeugend auftritt, wirkt das den kontrollirenden Theil des Ausschaltermechanismus bildende Relais derartig, dass der geschlossene Ausschalter vom Auslöshebel in seiner Stellung erhalten wird. Wenn aber die Stromerzeugung der betreffenden Maschine, infolge ihres zufällig zu langsam werdenden Umlaufes, abnimmt und dadurch ein Uebergang des von den übrigen Lichtmaschinen in den äußeren Stromkreis (Lampenstromkreis) gesendeten, Stromes nach der zu schwach arbeitenden Maschine eintritt, so wirkt die im polarisirten Relais sich umkehrende Stromrichtung derartig, dass der Anker um seine senkrechte Achse so weit zur Seite gezogen wird, bis der frei werdende Auslöshebel den Ausschalterarm freigibt; jetzt öffnet sich der Ausschalter und unterbricht somit den, die Maschine gefährdenden, Rückstrom. Die Stromrichtung wechselt nur im Elektromagnet $E_1 E_2$. Der Anker A behält immer denselben Pol, weil er aus der Gesammtanlage, und nicht von der zu schützenden Maschine, Strom erhält. Fig. 129 *b* veranschaulicht ein perspektivisches Bild dieses Ausschalters.

88. 4. Gruppe.

Der Compoundautomat von B. Egger & Co. wird insbesondere für die Hintereinanderschaltung von Glühlampen verwendet und hat den Zweck eine Glühlampe kurz zu schließen, wenn dieselbe versagt. Mittelst solcher Automaten wurde die seinerzeit (1886) noch mit großen Schwierigkeiten verbundene Hintereinanderschaltung von Glühlampen gelöst. Dieser Automat besteht aus dem Elektromagneten M, Fig. 130, mit einer doppelten Wickelung (Compound-Wickelung). Auf dem Eisenkerne desselben befinden sich 3 Lagen 2 *mm*-Kupferdraht und 15 Lagen 0,2 *mm* Draht, aus gleichem Materiale, von 80 Ohm Widerstand. Sämmtliche Kupferwindungen sind wohl isolirt. Der Eisenkern trägt an seinen Enden die Polansätze P_1 und P_2. Mit dem letzteren ist der Anker A, welcher das verstellbare Gewicht G trägt, durch die Drehschraube s beweglich verbunden. An dem Anker befindet sich bei c_2 der Platinkontakt. Durch die, von dem Messingstücke S isolirten, Schrauben s_1 und s_2 ist dasselbe auf den Metallkörper des Elektromagnetes, sammt dem in der Figur schraffirten Isolirstücke, aufgeschraubt. Das Messingstück S trägt einerseits die Messingfeder F und anderseits den Platinkontakt c_1. Die Schrauben s_1 und s_2 sind deshalb isolirt, weil sonst der Automat durch dieselben kurzgeschlossen wäre. Wenn die Lampe B brennt, fließt der Hauptstrom von dem positiven Pole der Maschine, durch die Lampe, zum negativen Pole der Maschine, während

sich die dünnen Windungen (punktirte Leitung) zwischen den Klemmen k_1 und k_2 im Nebenschlusse zur Lampe befinden. Versagt die Lampe, so steigt die Spannung an den Klemmen k_1 und k_2, infolge der augenblicklichen Widerstandswirkung der Nebenschlusspule im Hauptstrome, und der Elektromagnet zieht den Anker A an, wodurch der Hauptstrom auf dem Wege durch die dicken Windungen, das Eisengestell, den Anker A, die Kontakte c_2 und c_1, das Messingstück S und die Feder F geschlossen erscheint. Die Feder F dient zur Sperrung des angezogenen Ankers.

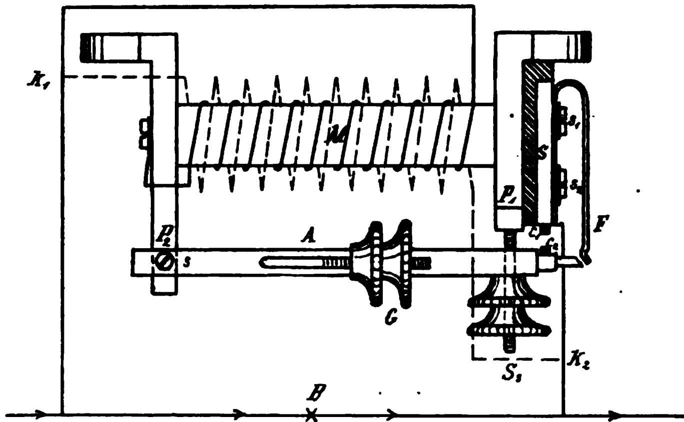


Fig. 130.

Die in Verwendung stehenden Glühlampen haben zumeist eine Stromstärke von 5 Ampère und eine Spannung von 18 Volt; dann tritt der Automat bei 20 Volt in Thätigkeit.

Die Einstellung der Empfindlichkeit des Apparates erfolgt durch die Verschiebung des Gewichtes G und durch die Verkleinerung oder die Vergrößerung der Entfernung zwischen dem Anker und dem Polansatze P_1 des Elektromagnetes mittelst der Schraube S_3.

Der Automat in Fig. 131 und 132 hat wesentlich dieselbe Einrichtung, wie der zuletzt beschriebene. Der Anker A des Elektromagnetes E wird durch die Feder f gegen die Schraube s_3 gedrückt.

Die Schaltung dieses Automaten ist aus dem Schema Fig. 132 ersichtlich. Glüht die Lampe l_1 normal, so fließt der Strom von der Leitung L_1 nach s_1 und dem Gestelle s_2, der Spule m nach l_1 und zuzück zur Leitung L_2. Diesen Stromweg bezeichnen in der Figur die vollen Pfeile. Wenn die Lampe l_1 erlischt, so sind die Windungen des Elektromagnetes ausgeschaltet, der Anker wird von der Feder F

gegen die Kontaktschraube s_2 gedrückt, und der Strom geht von der Leitung L_1 zur Schraube s_1, durch das Gestell und den Anker zur Kontaktschraube s_3, von der Schraube s_4 durch die Ersatzlampe l_2 zur

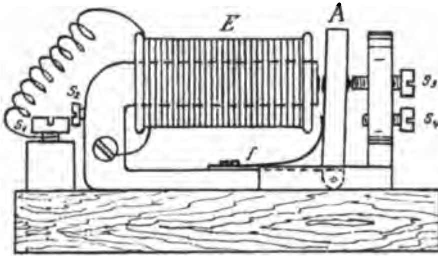


Fig. 181.

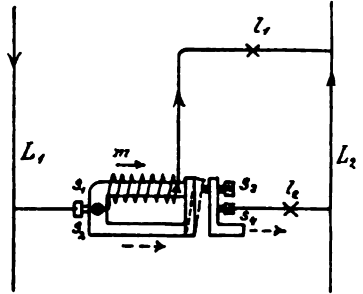


Fig. 182.

Leitung L_2. Den letzteren Stromweg bezeichnen die punktirten Pfeile. Dieser Apparat findet in Räumen, in welchen sich nur eine Glühlampe befindet, deren verlässliche Thätigkeit von größter Wichtigkeit ist, Verwendung.

VII. Kapitel.

Kontrollapparate.

89. Wesen. Kontrollapparate geben selbstthätig Anzeigen der normalen, zu niederer und zu hoher Betriebsspannung, der Stromstärke, des Isolationswiderstandes des Kupfers gegen die Erde, der Thätigkeit einzelner Lampengruppen oder Lampen u. s. w.

Zur Messung von Spannungen, Stromstärken und Widerständen dienen die wissenschaftlichen und industriellen Galvanometer (I. Seite 68 ff.).

90. Praktische Konstruktionen.

1. Der Spannungswecker von Siemens & Halske, Fig. 133, gibt bei zu hoher und zu niederer Betriebsspannung ein Glockensignal und schützt in ersterem Falle den Stromkreis vor zu hoher Stromstärke, die Dynamomaschine vor starker Erwärmung und eingeschaltete Glühlampen vor zu hoher Spannung. Der Apparat befindet sich in einem Kästchen mit Glasthüre und besteht aus 3 Elektromagneten E_1, E_2 und E_3 sammt den Ankern A_1, A_2 und A_3 (I. Seite 24). Der Elektromagnet E_1 wird an den Schrauben k_1 und k_2, wie eine Glüh-

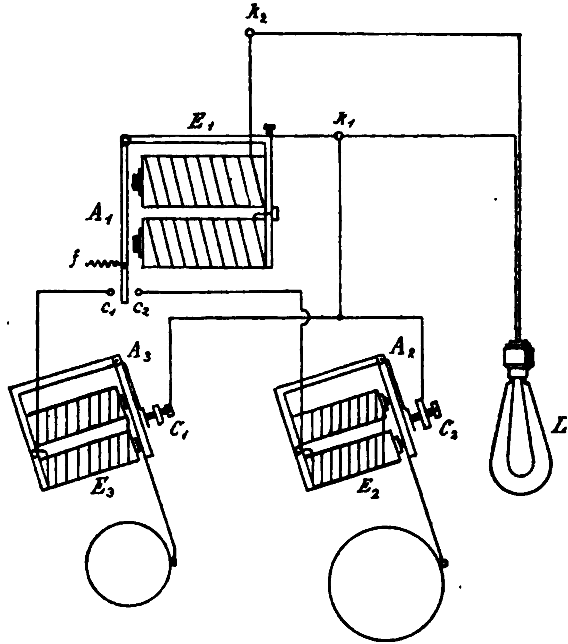


Fig. 133.

lampe, eingeschaltet. Die Schraube k_1 ist mit den Kontakten C_2 und C_1 verbunden und bildet zugleich den gemeinsamen Pol für die beiden Elektromagnete E_2 und E_3, deren zweiten Pole die Kontakte c_1 und c_2 angeben. Ueberschreitet die Betriebsspannung eine bestimmte Grenze, so zieht der Elektromagnet E_1 seinen Anker A_1 an, welcher bei c_2 Kontakt herstellt, den Stromkreis des Elektromagnetes E_2 schließt und so das größere Läutewerk in Thätigkeit setzt. Bei zu niederer Betriebsspannung bewirkt die Feder f, durch ihre Zugkraft, die Herstellung der Berührung zwischen dem Anker A und dem Kontakte c_1, womit das kleinere Läutewerk in Thätigkeit tritt. Die beiden Tonhöhen der Glocken der Läutewerke weisen auf zu hohe oder zu niedere Betriebsspannung hin. Die Glühlampe L beleuchtet den Automaten behufs Beobachtung des Anschlagens der Glockenhämmer. Den gleichen Zweck wie dieser Wecker hat der Voltmesser I. Seite 99, Fig. 107.

2. Der Erdschlussanzeiger. Fig. 134 zeigt einen Erdschlussanzeiger einfachster Art. Auf einer isolirenden Platte sind zwei Glühlampen L_1 und L_2 aufmontirt. Bei k_1 und k_3 befinden sich die Pole der Leitung. Die beiden Lampen sind hintereinander geschaltet und brennen,

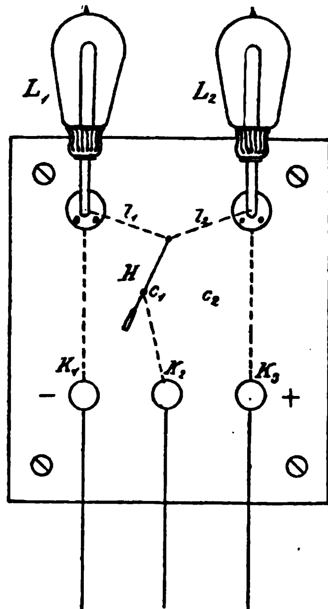


Fig. 134.

falls der Hebel H auf dem Kontakte c_2 aufliegt, jede mit der halben Betriebsspannung. Ist, so wie in der gezeichneten Stellung, die Erdleitung durch den Kontakt c_1, von k_2 aus, eingeschaltet, so wird bei guter Isolation des Leitungsnetzes keine Aenderung in der Beleuchtungsstärke der beiden Lampen eintreten; hat aber z. B. der positive Pol der Leitungen Schluss mit der Erde oder ist dessen Isolation gegen die Erde unzureichend, so wird die Lampe L_1 mit voller, oder höherer als der halben, Betriebsspannung brennen. Schließt man die Drähte l_1 und l_2 direkt an die Klemme k_2, so brennt die Lampe L_1 oder L_2 je nachdem der positive oder negative Pol Erdschluss hat.

VIII. Kapitel.

Schaltbretter.

91. Zugehör. Auf den Schaltbrettern finden Platz:

1. Die Enden der Maschinenleitungen und die Anfänge der Außenleitungen. Die Verbindung dieser Leitungen besorgen Ausschalter, Umschalter, Polwechsler, Generalumschalter und Kommutatoren.

2. Messapparate (Ampèremesser, Voltmesser, Elektricitätszähler, Automaten u. s. w.), Signalapparate (Spannungswecker, Voltmesser mit Läutewerk u. s. w.).

3. Sicherungen. — In unmittelbarer Nähe der Schaltbretter, gewöhnlich unterhalb derselben, werden die Regulirwiderstände angebracht. Die Messinstrumente müssen frei sein von äußeren magnetischen Einflüssen. Es finden deshalb auf den Schaltbrettern nur die sogenannten industriellen Galvanometer Platz, welche, wenn sie sich sehr nahe neben einander, oder nur auf einer Seite einer Leitung zu nahe, befinden, durch Bleche aus weichstem Eisen vor Störungen zu schützen sind.

Die Haupteigenschaften eines zweckentsprechenden Schaltbrettes sind:

1. Auf dem Schaltbrette müssen die Stromverhältnisse der Anlage leicht ersichtlich sein.

2. Das Schaltbrett muss sich an einem leicht zugänglichen Orte befinden.

3. Vom Schaltbrette aus müssen die Vorgänge in der ganzen Maschinenanlage zu überblicken sein.

Bei der Handhabung des Schaltbrettes ist zu beachten, dass Unrichtigkeiten in der Schaltungsweise den Maschinen, Lampen und Leitungen gefährlich werden können, während rasch ausgeführte Umschaltungen oft vor dem gänzlichen Versagen der Anlage schützen.

Nur mit der Anlage vollkommen vertraute Personen dürfen deshalb das Schaltbrett handhaben.

92. Vertheilungsbretter. Außer den Hauptschaltbrettern im Maschinenhause finden sogenannte Vertheilungsbretter an gewissen Vertheilungspunkten Verwendung. Ein solches Vertheilungsbrett stellt Fig. 135 dar, welches in der Centralstation von B. Egger & Co. in Gastein Verwendung findet. Dieses Vertheilungsbrett enthält auf isolirtem Brette einen doppelten Umschalter U_1 und zwei einfache Ausschalter A_1 und A_2. Das Verbindungsstück *a b* zwischen den Metallhebeln H_1 und H_2 besteht aus wohl isolirendem Materiale (Buxbaumholz). An den Punkten *A* und *B* ist die Dynamomaschine, in *C* und *D* sind die Lampen und bei *E* und *F* der Sammler eingeschaltet. Die Kontakte 1 und A_1 sowie 3 und A_2 sollen miteinander verbunden sein.

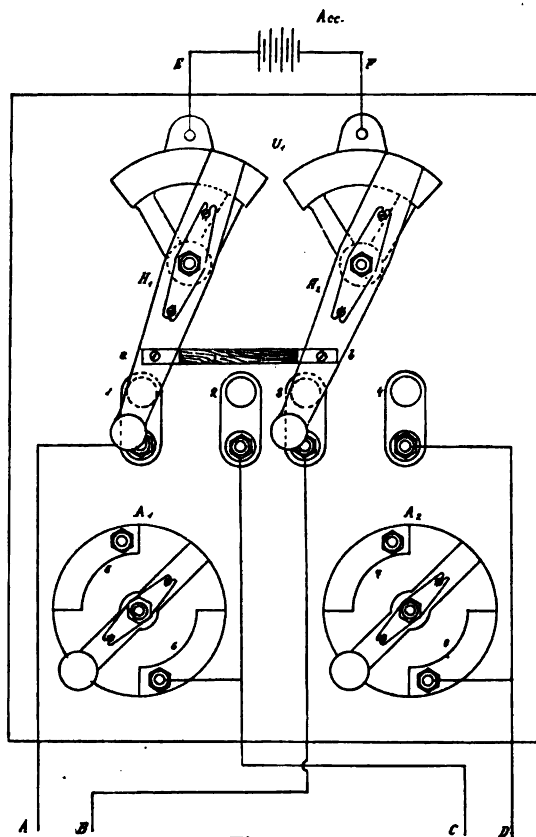


Fig. 135.

Mittelst dieses einfachen Vertheilungsbrettes sind folgende Schaltungen möglich:

1. Das Laden des Sammlers. Dieser Schaltung entsprechen die Hebelstellungen der Figur.

2. Das Beleuchten mit dem Sammler. In diesem Falle ist der Doppelhebel des Schalters U_1 nach rechts zu drehen, so dass die Hebel H_1 und H_2 auf den Kontakten 2 und 4 aufliegen.

3. Das Beleuchten mit der Maschine. Die Hebel H_1 und H_2 des Ausschalters dürfen keinen der Kontakte 1, 2, 3 oder 4 berühren und die Ausschalter A_1 und A_2 müssen eingeschaltet sein.

4. Das Laden und das Beleuchten. Diese Schaltung erfordert die Vereinigung der Schaltungen unter 1. und 3.

93. Ein einfaches Schaltbrett für eine kleinere Beleuchtungsanlage mit Voltmesser, Ausschaltern, Sicherungen und Leitungsanschlüssen zeigt Fig. 136. Die Klemmen der Dynamomaschine sind an die Schienen S_1 und S_2 angeschlossen. Von dem Schaltbrette aus

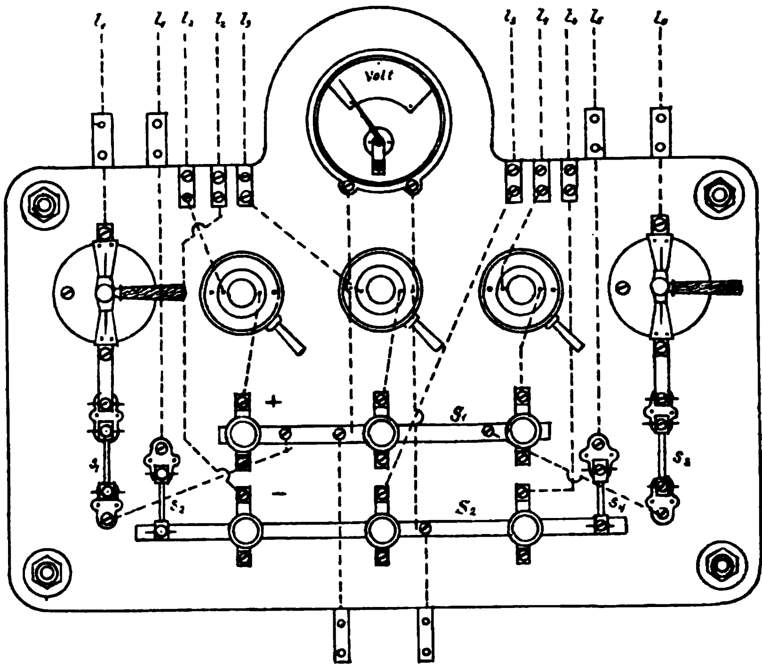


Fig. 136.

gehen die 5 Stromkreise $l_1\,l_1$, $l_2\,l_2$, $l_3\,l_3$, $l_4\,l_4$ und $l_5\,l_5$. Die Leitungen zweigen von der einen Schiene ab, führen zu den Sicherungen, Ausschaltern und Lampen, und schließen an der zweiten Schiene an. Der Voltmesser ist an die Schienen S_1 und S_2 angelegt und misst die Spannung zwischen denselben; da bis zu den Schienen kein Spannungsverlust eintritt, so ist die Maschinenspannung der Klemmenspannung gleich. s_1, s_2, s_3 u. s. w. bezeichnen die Bleisicherungen in den positiven und negativen Leitungen.

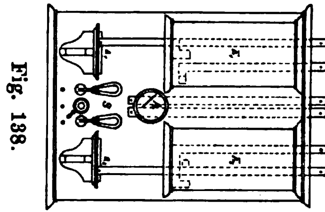
94. Als Hauptschaltbrett einer großen Anlage für Beleuchtung und Kraftübertragung sei hier das im **Neuen Wiener Rathhause**

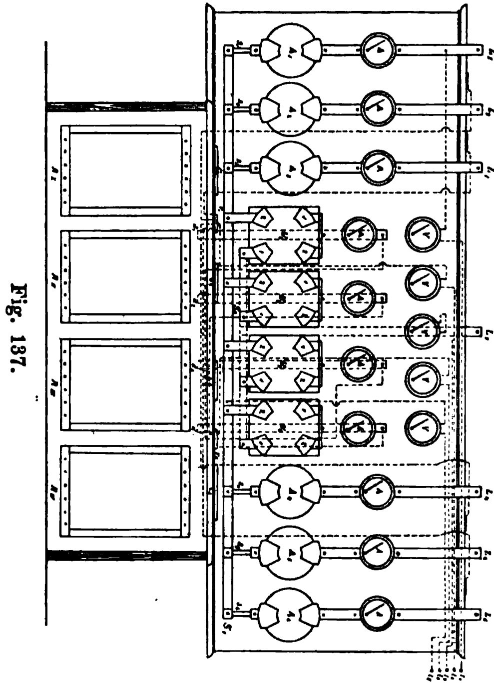
von der Firma B. Egger & Co. aufgestellte, Fig. 137 bis 139, angeführt. Dieses Schaltbrett zerfällt in den großen mittleren Theil Fig. 137 (positiver Pol), den Theil Fig. 138 (negativer Pol) und den Theil Fig. 139 (Apparatenbrett). Die Hauptschienen sind mit S_1 (positive Schiene), S_2 (negative Schiene) und S_3 (Kraftübertragungsschiene), die Voltmesser mit V, die Ampèremesser mit A, die Ausschalter mit A_1, A_2 u. s. w., die Umschalter mit U_1, U_2 u. s. w., die Magnetrheostate mit R_{I}, R_{II}, R_{III} und R_{IV}, die dazugehörigen Kommutatoren mit C_1, C_2, C_3 und C_4, die Voltmesserumschalter mit V_1 und V_2, die Sicherungen mit s_1, s_2 u. s. w., die Aron'schen Elektricitätszähler mit E_1 und E_2, die Automaten mit a_1 und a_2, der Erdschlussprüfer mit S, die positiven Anschlüsse der Maschinen an die Schiene S_1 mit d_1, d_2, d_3 und d_4, die negativen Anschlüsse derselben an die Schiene S_2 mit d_5, d_6, d_7 und d_8 bezeichnet. Bei der Stellung 1, 1 der Umschalterhebel sind sämmtliche Maschinen zur Beleuchtung nebeneinander geschaltet. Die Stellung der Hebel 2, 2 ermöglicht die Benützung jeder Maschine zur Kraftübertragung. Vom Schaltbrette gehen sieben Leitungen aus und zwar die Lichtleitungen L_1 und L_2, die Reserveleitungen L_3 und L_4, die Sammlerleitung L_5, die Verbindungsleitung zwischen der alten und der neuen Anlage L_6 und die Kraftübertragungsleitung L_7. Die Ampèremesser befinden sich in den Hauptstrom- und Zweigleitungen. Die Voltmesser messen die Spannung an den Dynamomaschinen, an den Schienen, an den Licht- und Reserveleitungen, an dem Sammmler und an den Kraftübertragungsschienen. Die Voltmesserschaltungen sind in der Figur ersichtlich. Der Voltmesserumschalter V_1 gestattet die Spannungen an den Licht- und Reserveleitungen, der Voltmesserumschalter V_2 an den Dynamomaschinen abzulesen. Die Automaten haben den Zweck den Sammlerladestrom zu unterbrechen, wenn derselbe unter eine gewisse Grenze herabsinkt. Sie verhindern dadurch das Zurückfließen des Stromes aus dem Sammler in die Maschine während des Ladens. Die Einrichtung dieser Automaten entspricht im Wesen dem, in den Fig. 127 und 128 skizzirten, Apparate.

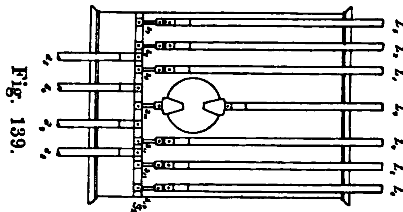
Der Erdschlussprüfer hat die, in Fig. 134 wiedergegebene, Einrichtung.

Das positive und negative Brett sind, um Schlüsse zu vermeiden, von einander getrennt.

Die 3 Theile des Schaltbrettes sind neben einander angeordnet. Fig. 137 bildet den mittleren, Fig. 138 den linken und Fig. 139 den rechten Theil. Die Spannungsleitungen l_1, l_2 u. s. w. schließen an die negativen Schienen an. Die Umschalter U_1, U_2 u. s. w., sowie die Ausschalter A_1, A_2 u. s. w. sind für Stromstärken bis 600 Ampère bemessen.


Fig. 138.


Fig. 137.


Fig. 139.

Die Voltmesser haben Skalen von 50—120 Volt und zeigen, sowie die Ampèremesser, an der Gebrauchsgrenze die weiteste Theilung. Die Betriebsspannung beträgt 100 Volt. Die Magnetrheostate R_I, R_{II} und s. w. bestehen aus Neusilberdrähten von je 50 Ohm Widerstand, welche auf Eisenrahmen, durch Porzellanrollen isolirt, aufmontirt sind. Diese Widerstände befinden sich in einem Kasten, welcher zur Herstellung einer guten Durchlüftung der Drähte auf der Rückseite frei, auf der Vorderwand und den Seitenwänden mit durchbrochenem Bleche versehen ist.

Außer diesem Brette enthält die genannte Licht- und Kraftanlage Vertheilungsbretter sowohl für die Beleuchtung, als auch für die Kraftübertragung. Die letzteren Bretter enthalten zumeist Ausschalter, sowie Sicherungen, zeigen an Messinstrumenten (Ampère- und Voltmesser) die Stromverhältnisse in den verschiedenen Licht- und Kraftstromkreisen an, ermöglichen so das Ein- und Ausschalten und die Kontrolle der Isolation derselben von gewissen Kontrollstellen aus.

IX. Kapitel.

Die Stromvertheilung.

95. Die Wahl des Stromvertheilungssystemes hängt von den folgenden Punkten ab:

1. Das Vertheilungssystem muss die größte Wirtschaftlichkeit und das höchste elektrische Güteverhältnis ergeben. Im allgemeinen sind die Anlagekosten desto kleiner, je höher die Betriebsspannung ist.

2. Das Vertheilungssystem hat für die Sicherheit des Betriebes Rechnung zu tragen.

Der Gleichstrom ist für die Beleuchtung, die Kraftübertragung und die Elektrolyse, der Wechselstrom hauptsächlich für die Beleuchtung auf große Entfernungen verwendbar. Erst in jüngster Zeit sind brauchbare Wechselstrommotoren von Nikola Tesla, Dolivo von Dobrowolsky (Allgemeine Elektricitätsgesellschaft in Berlin), Oerlikon, C. E. L. Brown, Ganz & Co. und Anderen konstruirt worden.

96. Eintheilung. Die Stromvertheilungssysteme werden eingetheilt:

1. Direkte Stromvertheilung, wenn der Strom ohne Umsetzung verbraucht wird, d. h. wenn der Stromerzeuger und die Verbrauchsstelle in demselben Stromkreise liegen.

2. Indirekte Stromvertheilung wenn der Strom des Stromerzeugers durch einen Zwischenapparat (Transformator, Sammler u. s. w.) umgesetzt wird. Die Stromnehmer (Lampen, Motoren u. s. w.) empfangen den Strom nur aus den Zwischenapparaten.

Bei der indirekten Stromvertheilung sind zwei Stromkreise vorhanden. In dem einen (primären) Stromkreise befindet sich die Stromquelle, in dem anderen (sekundären) Stromkreise dagegen sind die Stromnehmer eingeschaltet. Beide Stromkreise verbinden Sammler, Gleich- oder Wechselstromtransformatoren miteinander.

I. Die direkte Vertheilung.

97. Die Reihen- oder Serienschaltung, Fig. 140. Bei dieser Schaltung sind sämmtliche Lampen hintereinander geschaltet. Dieses System benützt als Stromquelle in der Regel die Reihenmaschine; da der Maschinenstrom sämmtliche Lampen durchfließt, arbeitet dasselbe mit niederer Stromstärke (gewöhnlich 10 Ampère) und hoher Spannung. Die Durchmesser der Leitungen sind demnach klein, die Kupferkosten gering und große Entfernungen leicht zu nehmen. Hingegen sind damit die Nachtheile verbunden:

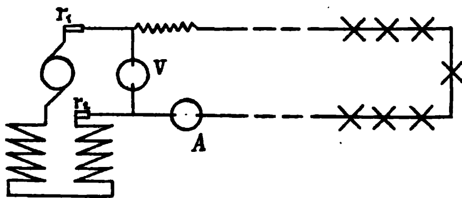


Fig. 140.

1. Der ganze Betrieb hängt von der ruhigen Thätigkeit der einzelnen Lampen ab.

2. Sind 50 Bogenlampen, von welchen jede etwa 45 Volt verbraucht, hintereinander geschaltet, so beträgt die erforderliche Gesammtspannung beiläufig $50 \times 45 = 2250$ Volt; diese Spannung macht schon bei Gleichstrom die Bedienung der Anlage gefährlich.

3. Eine Unterbrechung an irgend einer Stelle der Leitung führt die Unterbrechung des ganzen Stromkreises herbei.

4. Hochgespannte Ströme erfordern eine äußerst sorgfältige Isolation.

Die Hintereinanderschaltung von Glühlampen wurde von Bernstein, Heissler, sowie Siemens ausgeführt. In Fig. 136 und den folgenden Figuren bedeuten *s* die Sicherungen, *A* die Ampèremesser, *V* die Voltmesser.

98. Die Nebeneinanderschaltung (Zweileitersystem), Fig. 141. Bei diesem Systeme sind die Lampen entweder einzeln oder in Gruppen

nebeneinander geschaltet. Dieses Vertheilungssystem besteht aus zwei parallelen Leitern, den beiden Polen des Stromerzeugers, von welchen an der Verbrauchsstelle die Abzweigungen ebenfalls parallel erfolgen.

Während bei der Hintereinanderschaltung beim Anschließen einer Lampe die Leitung unterbrochen werden muss und die Lampe den Schluss dieser Unterbrechungsstelle besorgt, sind bei der Nebeneinanderschaltung die Lampen von den beiden Polen, der positiven und negativen Leitung, ohne dieselben zu unterbrechen, parallel abgeschaltet. Der wichtigste Nachtheil der Nebeneinanderschaltung sind die großen Kosten für das Kupfer der Leitung, da mit höheren Stromstärken und niederen Spannungen gearbeitet wird, als bei der Reihenschaltung. Zu den hauptsächlichsten Vortheilen der Nebeneinanderschaltung zählen:

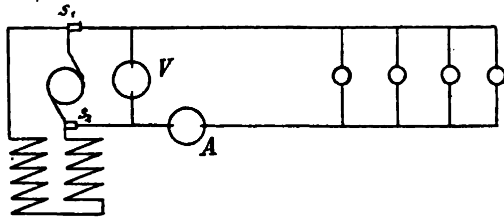


Fig. 141.

1. Die Unabhängigkeit sämmtlicher Apparate und Stromkreise von einander und die damit verbundene Betriebssicherheit.

2. Die Ungefährlichkeit der Bedienung.

Beim Zweileitersystem bilden Nebenschlussmaschinen die Stromerzeuger, deren magnetisches Feld, beziehungsweise Klemmenspannung durch den Magnetrheostat gleich erhalten wird. Die zumeist angewendeten Spannungen sind 100 und in neuester Zeit 150 Volt. In Fig. 141 sind einzelne Glühlampen parallel geschaltet. Die weiter von der Stromquelle entfernten Lampen empfangen, infolge des Spannungsverlustes in der Leitung, eine geringere Spannung. Wilhelm Siemens hat schon 1882 diesen Nachtheil der einfachen Nebeneinanderschaltung dadurch beinahe gänzlich behoben, dass er die Stromerzeuger zweckmäßig vertheilte. Nebenschlussmaschinen, in deren Magnetwindungen Magnetautomaten eingeschaltet sind, geben bei Belastungs- und Umdrehungszahländerungen stets gleiche Spannung und gestatten deshalb an entfernteren Stellen Glühlampen von niederer Spannung einzuschalten, die bei Maschinen ungleicher Spannung Gefahr laufen würden, da dauernde Spannungsänderungen von 3 % die Lebensdauer der Glühlampen bedeutend verkürzen. Das Reguliren der Spannung durch Widerstände im Hauptstromkreise ist nicht wirtschaftlich, weil damit Kraftverluste verbunden sind; besser bewährt sich schon eine stärkere Bemessung der Leitungsdrähte.

Ein einfachstes Schema der Einschaltung eines Sammlers in ein Zweileitersystem zeigt Fig. 142. Neben thätigen Lampen wird der Elektromotor *M* angetrieben. Das Laden des Sammlers und das Speisen der Stromnehmer erfolgt gleichzeitig. Der Sammler gleicht Spannungsdifferenzen im Leitungsnetze aus und kann den Betrieb theilweise oder gänzlich (indirekte Stromvertheilung) übernehmen. Der letzte Fall ist bei der Stromvertheilung dann vorgesehen, wenn der Stromverbrauch ein sehr geringer wird oder wenn die Betriebsdynamo versagt. Ausführliche Schaltungsschemen einer Nebeneinanderschaltung

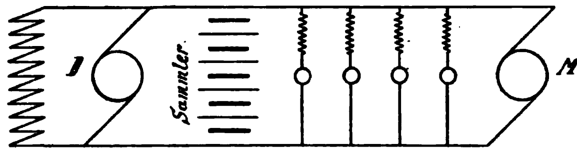


Fig. 142.

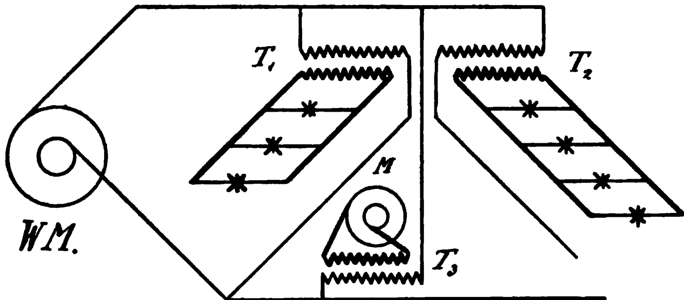


Fig. 143.

von Dynamo, Sammler und Lichtleitung wurden auf den Seiten 37, Fig. 14, und 39, Fig. 15, wiedergegeben.

Fig. 143 veranschaulicht den Anschluss der Transformatoren T_1, T_2 und T_3 an den Stromkreis einer Wechselstrommaschine *W. M.* Von dem Transformator T_3 wird der Wechselstrommotor *M* angetrieben. Die Anzahl der Lampen in den einzelnen Stromkreisen kann eine verschiedene sein. Lampen und Motoren können einzeln, hintereinander, nebeneinander, sowie es die Lampen der Figur zeigen, oder gemischt geschaltet sein.

Die gleiche Spannung an sämmtlichen Lampen ist insbesondere in Frankreich durch die Nebeneinanderschaltung mit Gegenschaltung (en boucle), Fig. 144, erreicht worden. Eine Leitung

ist durch die ganze Anlage hin- und sich selbst parallel wieder zurückgeführt. Erst auf dem letzteren Wege sind die Lampen abgezweigt. Diese Schaltungsweise hat jedoch keine weitere Verbreitung gefunden, da sich die Kosten des Leitungsmateriales dabei noch höher stellen, als bei der einfachen Nebeneinanderschaltung.

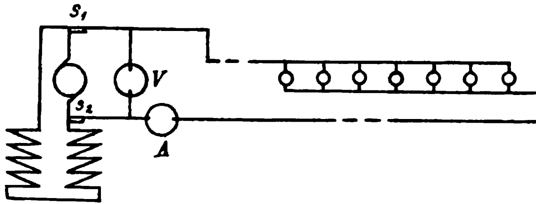


Fig. 144.

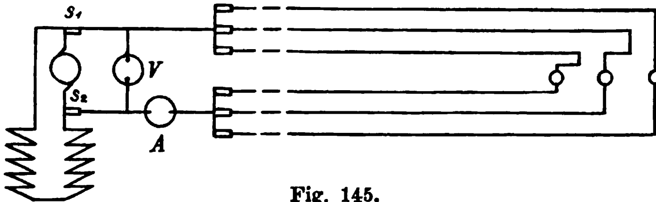


Fig. 145.

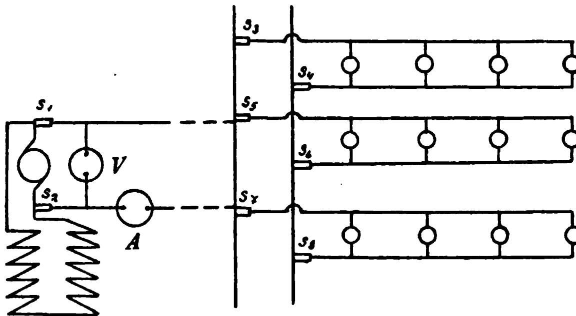


Fig. 146.

Auf gleiche Spannung werden die Lampen auch durch die in Fig. 145 dargestellte Schaltung von R. Gülcher gebracht. Jede Lampe hat eine eigene Leitung von gleichem Widerstande. Diese Schaltungsweise erschwert die Montage und ist nicht wirtschaftlich.

In Fig. 146 ist eine Nebeneinanderschaltung von mehreren (3) Stromkreisen veranschaulicht.

Fig. 147 zeigt Glüh- und Bogenlampen in Nebeneinanderschaltung unter Voraussetzung einer Betriebsspannung von etwa 60 Volt. Den Bogenlampen ist ein sogenannter Beruhigungswiderstand vorgeschaltet, welcher insbesondere dann große Bedeutung erlangt, wenn die Lampen durch irgend einen Zufall kurzgeschlossen werden. Dann würden, falls die Sicherung zu stark bemessen wäre, fast der gesammte Maschinenstrom durch die kurzgeschlossene Lampe fließen, die Isolation der Drähte der Hauptspule derselben verkohlen, sämmtliche Lampen der Anlage verdunkeln und der Betrieb entweder theilweise oder vollkommen gestört. Die Lampen reguliren schon bei 35 bis 45 Volt. Bei der obigen Betriebsspannung (etwa 60 Volt) müssen deshalb min-

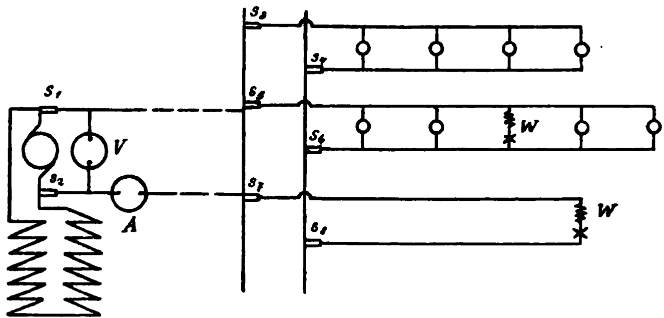


Fig. 147.

destens 15 Volt durch den Vorschaltwiderstand verbraucht werden. Durchfließen die Lampe 10 Ampère, so muss der Vorschaltwiderstand

$$W = \frac{E}{J} = \frac{15}{10} = 1{\cdot}5 \text{ Ohm sein.}$$

Wirtschaftlicher arbeitet eine Nebeneinanderschaltung mit höherer Spannung, da sich die Leitungsquerschnitte bei derselben bedeutend vermindern. Eine solche Stromvertheilung stellt Fig. 148 dar. Die Leitungen besitzen bei gleichem Spannungsverluste und doppelter Betriebsspannung den vierfachen Widerstand, also den vierten Theil des Kupfergewichtes; auch ist für 2 Bogenlampen nicht der doppelte Vorschaltwiderstand der einfachen Lampe erforderlich. Beträgt die Betriebsspannung 120 Volt, so werden 2 Bogenlampen mit einem gemeinsamen Vorschaltwiderstande, so wie es die Figur zeigt, hintereinander, die 120-Volt-Glühlampen dagegen einzeln parallel geschaltet.

Wendet man Glühlampen zu 150 Volt an, so werden bei derselben Vertheilung 3 Bogenlampen hintereinander geschaltet, wodurch sich der

Betrieb abermals wirtschaftlicher gestaltet. Einen weiteren Vortheil bietet die letztere Vertheilung bei Hintereinanderschaltung von je zwei Glühlampen von 150 Volt und je 6 Bogenlampen, doch vermindert sich in dem letzteren Falle die Betriebssicherheit, da mit der einen Glühlampe die zweite, mit der einen Bogenlampe alle 6 hintereinander geschalteten Bogenlampen versagen oder Automaten, beziehungsweise Ersatzwiderstände, erforderlich werden, die nicht nur die Montage erschweren, sondern auch die Kosten der Anlage bedeutend erhöhen.

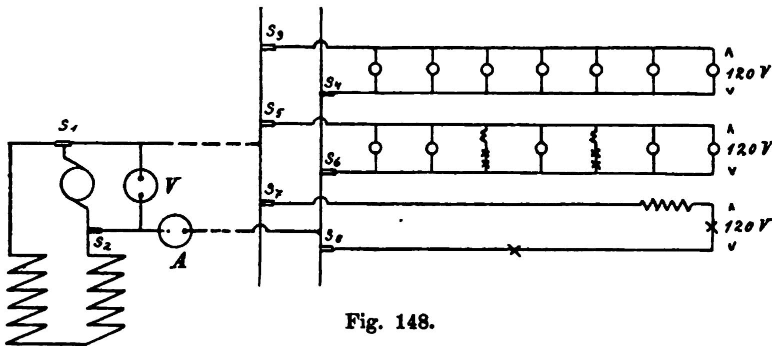


Fig. 148.

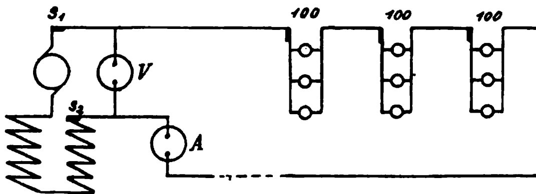


Fig. 149.

Das Zweileitersystem ist nur bis auf 800 *m* Entfernung zweckentsprechend. Kommen bei diesem Systeme Leitungen nahe nebeneinander zu liegen, so ist es, für die Aufrechterhaltung der gleichen Spannung, vortheilhaft sogenannte Ausgleichsleitungen anzuwenden.

99. Die gemischte Schaltung ist eine Vereinigung der Reihen- und Nebeneinanderschaltung und besitzt demnach die Vor- und Nachtheile dieser beiden Vertheilungssysteme. Eine solche Stromvertheilung besteht z. B., Fig. 149, in einer Reihenschaltung von Gruppen nebeneinander geschalteter Lampen und ist nur bei grossen Entfernungen praktisch, da wohl an Leitungsmaterial, im Verhältnisse zur Nebeneinanderschaltung, bedeutend erspart wird, aber Kurzschluss- oder

Umschaltapparate platzgreifen müssen, wenn nicht ganze Gruppen von Lampen versagen und andere Gruppen schadhaft werden sollen. Diese Schaltungsweise ist, z. B. für die Strassenbeleuchtung von Temesvar, verwendet worden.

Fig. 150 stellt die Nebeneinanderschaltung von Glühlampenreihen nach Bernstein und Edison dar.

Werden mehrere Lampenstromkreise, Fig. 151, von derselben Maschine betrieben, so muss dieselbe eine Nebenschlussmaschine sein.

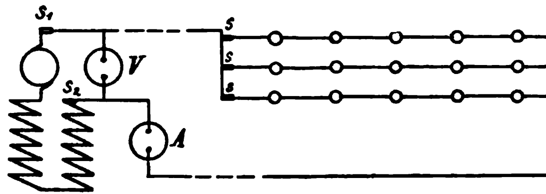


Fig. 150.

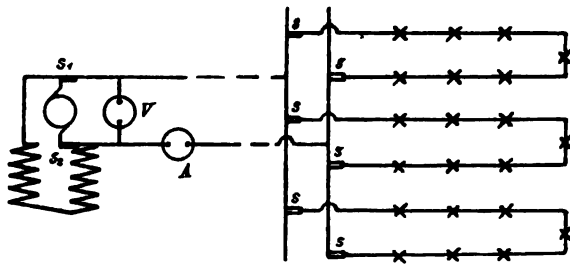


Fig. 151.

Ausgeschaltete Lampengruppen bewirken Spannungsdifferenzen, welche entweder durch Ersatzwiderstände oder Bürstenverschiebungen behoben werden können.

100. Das Dreileitersystem (Hopkinson, Edison). Denkt man sich, Fig. 152, zwei Dynamomaschinen von 100 Volt Spannung hintereinander geschaltet, so kann man zwischen die beiden parallelen Leiter L_1 und L_2 je 2 Glühlampen zu 100 Volt einschalten. In dieser Vertheilung versagt jedoch die eine Lampe mit der zweiten.

Zieht man, Fig. 153, von der Verbindung der Pole aus, eine sogenannte Ausgleichsleitung, so ist dieser Uebelstand behoben. Das so entstandene Vertheilungssystem wird, da hier drei Leiter parallel nebeneinander gezogen sind, Dreileitersystem genannt.

Die Drei-, 4-, 5-, 6-, 7- und Mehrleitersysteme entstehen dadurch, dass von 2, 3, 4, 5, 6 und mehr hintereinander geschalteten Maschinen 3, 4, 5, 6, 7 und mehr parallele Drähte zu den Verbrauchsstellen geführt werden.

Das Dreileitersystem hat den Nachtheil, dass in den beiden Hälften desselben die Stromstärken einander gleich sein müssen, eine

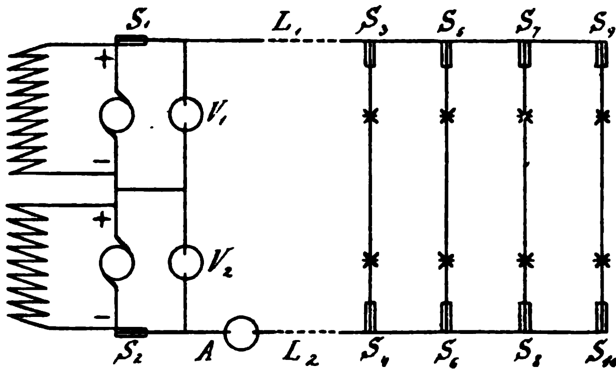


Fig. 152.

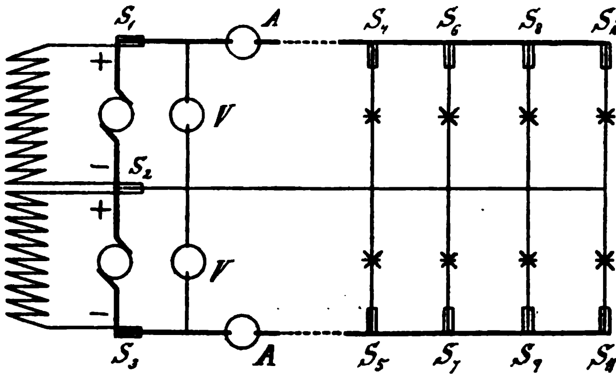


Fig. 153.

Bedingung, die sehr schwer zu erfüllen ist. Der Vortheil gegen die einfache Nebeneinanderschaltung besteht darin, dass es im wesentlichen eine Hintereinanderschaltung von 2 parallelen Stromkreisen darstellt, weshalb die Leitung den vierfachen Widerstand und damit den vierten Theil des Querschnittes erhält. Es werden deshalb an 30 % an Leitungsanlagekosten erspart. Der Mittelleiter dient zum Ausgleich bei ungleicher Belastung der beiden Hälften des Systemes und erhält den

halben Querschnitt wie jeder der Hauptleiter. Durch den Mittelleiter fließt nur dann Strom, wenn die Belastung in den beiden Zweigen des Systems eine verschiedene ist.

Ein Dreileitersystem mit einer einzigen Maschine zeigt Fig. 154. Hier dient ein Sammler zur Halbirung der Spannung. Zum Zwecke der Spannungsregulirung sind die Außenleiter mit den Regulirzellen eines Sammlers verbunden.

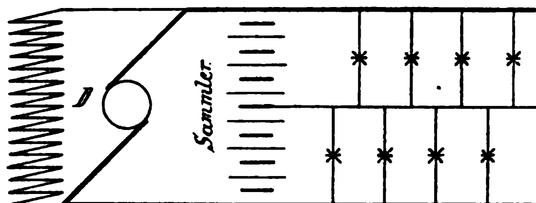


Fig. 154.

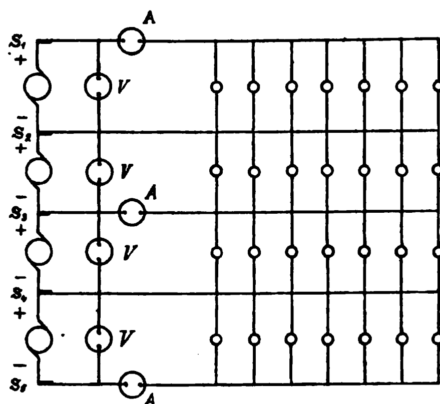


Fig. 155.

Anstatt zwei Maschinen kann weiters eine Maschine mit doppelter Spannung im Dreileitersystem Verwendung finden.

Das Dreileitersystem erweist sich bis auf Halbmesser von 1200 *m* als praktisch durchführbar.

101. Das Fünfleitersystem (Edison, Hopkinson), Fig. 155. Diese Figur stellt eine Verdoppelung des in Fig. 153 gezeichneten Dreileitersystemes dar. Es sind somit bei diesem Systeme 4 Dynamo gleicher Spannung hintereinandergeschaltet. Von den Endklemmen der 1. und 4. Dynamo führen die 2 Haupt- oder Außenleitungen, von den 3 inneren

gemeinschaftlichen Klemmen die 3 Mittelleiter. Die Spannung zwischen je 2 Leitern ist gleich der einfachen, die Spannung zwischen den 2 Hauptleitungen der vierfachen Spannung der einzelnen Dynamo. Die Spannung zwischen den Hauptleitungen muss demnach bei derselben Klemmenspannung an der Dynamo 4 mal so groß sein, als beim Zweileitersystem; der Querschnitt der Leitungen ergibt sich somit als 16 mal kleiner, wie beim Zweileitersystem. Aehnlich wie beim Drei- wird beim Fünfleitersystem der Querschnitt der Mittelleiter mit dem 4. Theil des Querschnittes der Hauptleiter bemessen. Die Hausanschlüsse erfolgen beim 3-, 4- und 5-Leitersystem in der Regel bis zu 30 Lampen zu je 16 Normalkerzen mit 2 Leitern, bis zu 60 solchen Lampen mit 3 Leitern und bis zu 80 solchen Lampen mit 5 Leitern. Aehnlich sowie

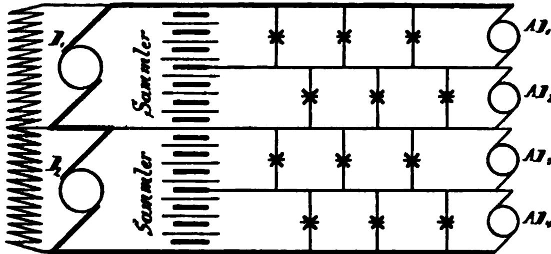


Fig. 156.

beim Dreileitersystem kann auch beim Fünfleitersystem ein Sammler die Theilung der Spannung besorgen. Ein solches Schaltungsschema stellt Fig. 156 dar. Bei den Fünf- und Mehrleitersystemen vermehren sich die Schwierigkeiten bezüglich der Aufrechthaltung gleicher Spannung. Dieser Nachtheil der genannten Systeme kann durch Regulatoren, Sammler, Ausgleichsdynamomaschinen AD_1 bis AD_4, Fig. 156, u. s. w. behoben werden. Letztere Maschinen verwenden Siemens & Halske zum Ausgleiche ungleicher Belastungen in den einzelnen Zweigen des Leitungsnetzes. Die Ausgleichsmaschinen dieser Firma bestehen aus zwei Nebenschlussmaschinen auf gemeinsamer Grundplatte. Die Magnetkörper der einzelnen Maschinen sind entweder zu einem Magnetkörper vereint oder voneinander getrennt, so zwar, dass sich die beiden Anker entweder in einem einzigen magnetischen Felde (innerhalb zweier gemeinsamer Magnetschenkel) oder in zwei voneinander getrennten magnetischen Feldern (innerhalb je zweier Magnetschenkel) bewegen. Zum Zwecke vollkommener Regulirung hat sich insbesondere die letztere Anordnung bewährt.

Siemens & Halske haben 2 Fünfleitersysteme erdacht, von welchen das eine, Fig. 157, in dem die Centrale umgebenden Gebiete, mit dem Dreileitersysteme I verbunden ist. Das eigentliche Fünfleitersystem II befindet sich in den entfernteren Gebieten. Die Dynamomaschinen *a*, *b*, *c* und *d* sind mit den Sammelschienen, von welchen die 3 Speiseleitungen S_1, S_2 und S_3 zu dem Dreileitersysteme I, das mit dem Fünfleitersysteme II verbunden ist und die 2 Speiseleitungen S_4 und S_5 direkt zu dem Fünfleitersysteme führen. V_1 und V_2 sind Vertheilungsleitungen.

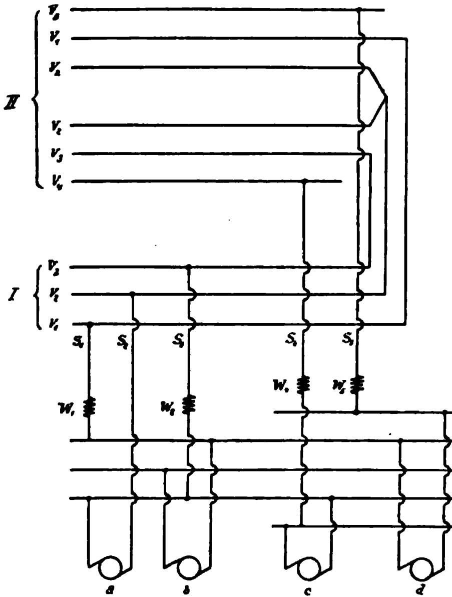


Fig. 157.

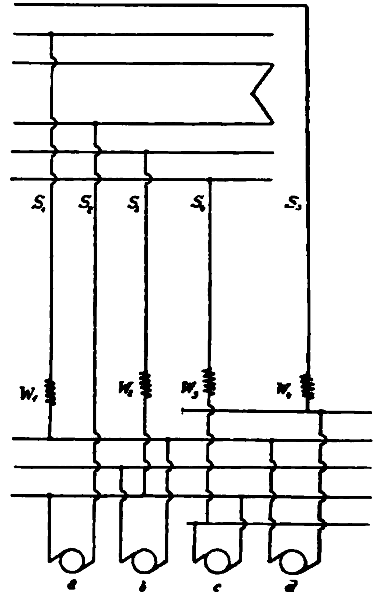


Fig. 158.

Da V_2 aus 2 Theilen besteht, setzt sich das Fünfleitersystem II aus 2 Dreileitersystemen zusammen. W_1, W_2, W_4 und W_5 bezeichnen Regulirwiderstände, welche den Zweck haben, die Spannungen, an den Anschließungspunkten der Vertheilungsleitungen an die Hauptleitungen, gleich zu erhalten.

Ein weiteres Fünfleitersystem von Siemens & Halske, Fig. 158, ist in sämmtlichen Bezirken als Fünfleitersystem durchgeführt.

Die Maschinenfabrik Esslingen baut für das Fünfleitersystem eigene Dynamo mit 4 Ankerwickelungen.

Je größer die Anzahl der Mittelleiter ist, desto niedriger stellen sich die Anlagekosten für die Leitungen. Beim Siebenleitersystem beträgt diese Ersparnis etwa 43 %, beim Zehnleitersysteme etwa 45 %.

102. Die Gegenschaltung, Fig. 159. Durch diese Schaltung ist die Bedingung der gleichen Spannung an sämmtlichen Lampen mit nur zwei Leitungen häufig vortheilhaft zu erreichen.

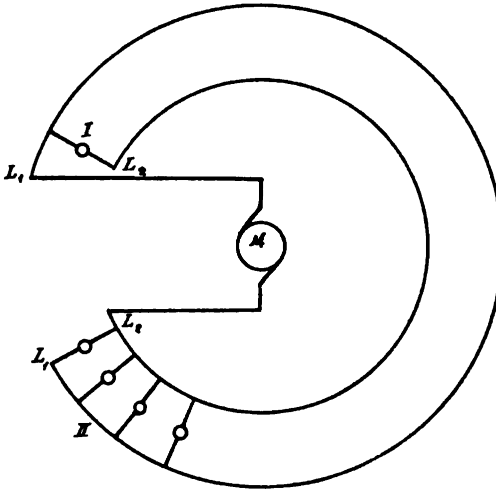


Fig. 159.

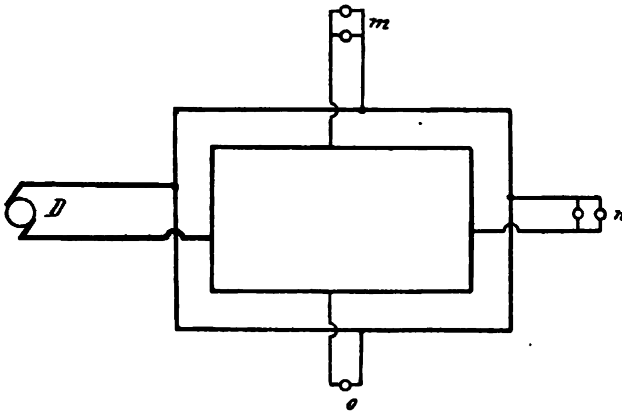


Fig. 160.

103. Die Schleifenschaltung, Fig. 160, wurde schon auf der elektrischen Ausstellung in Steyer angewendet. Der positive Pol der Dynamomaschine *D* ist mit dem einen, der negative Pol mit dem zweiten Rechtecke durch je eine sogenannte Speiseleitung (Feeders) in Verbindung; *m*, *n* und *o* sind die Zweigleitungen zu den Lampen.

Dieses Stromvertheilungssystem bildet die Grundlage für die folgende Kreis- (Ring-) Schaltung und die Stromvertheilung in den Centralstationen.

104. Die Kreisschaltung, Fig. 161, stellt sich insbesondere für große Beleuchtungsanlagen und Centralstationen vortheilhaft. Die Hauptleiter bilden parallel verlaufende, in sich geschlossene Schlingen, denen von einer, innerhalb derselben gelegenen Maschine oder Maschinengruppe der Strom in mehreren Zweigen zugeführt wird.

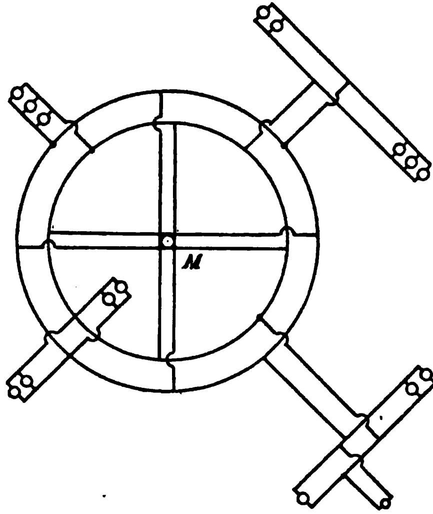


Fig. 161.

Das Ringsystem Fritsche[1]) ist in Fig. 162 schematisch wiedergegeben. Der innere Ring stellt die positive, der äußere die negative Leitung dar. Beim positiven Strang sind die Anschlusspunkte E_1 bis E_6 durch volle Kreise, bei dem negativen Strang die Punkte E'_1 bis E'_6 durch helle Kreise bezeichnet.

e_m, beziehungsweise e_0, ebenfalls durch einen vollen und einen hellen Kreis bezeichnet, bedeuten die Vereinigungspunkte, der positiven, beziehungsweise negativen Hauptleitungen, von welchen aus der Anschluss an die Hauptschienen des Schaltbrettes im Maschinenhause erfolgt. Die Verbindung der 6 Punkte E_1 u. s. w., beziehungsweise E_1 u. s. w. mit e_m, beziehungsweise e_0 durch Hauptzuleitungen, gibt das

[1]) Centralblatt für Elektrotechnik 1887, Seite 618.

geschlossene Ringsystem oder Leitungsnetz. Die Stromabnahmestellen sind mit den Buchstaben e_1 bis e_6 und auf dem negativen Strang mit e'_1 bis e'_6 bezeichnet. Die Hauptzuleitungen, sowohl die positiven, als auch die negativen, haben alle gleichen Widerstand; dasselbe gilt von den Stromkreisstrecken in der Ringleitung zwischen den positiven und negativen Anschlusspunkten. Die Buchstaben J bezeichnen die

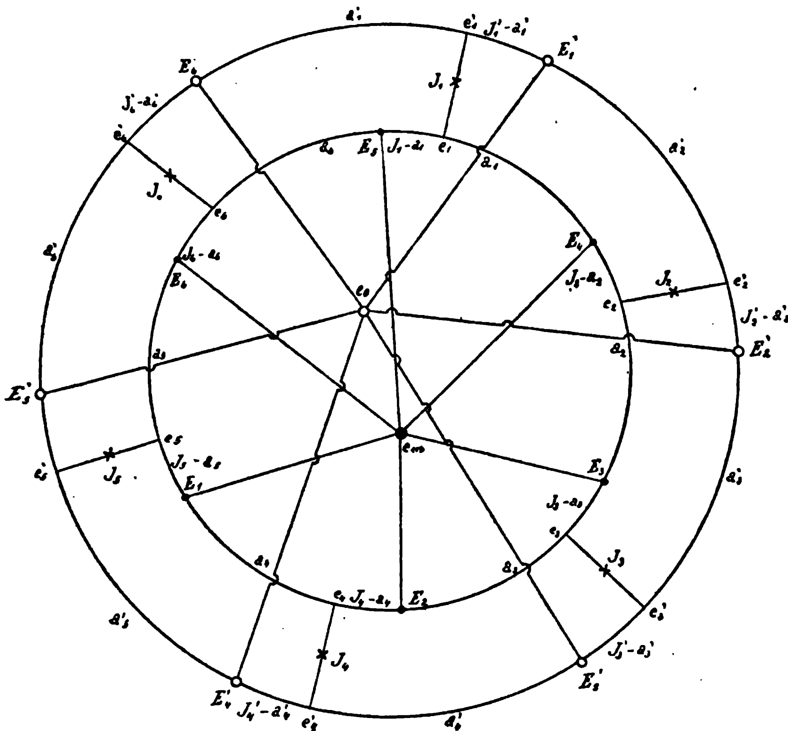


Fig. 162.

Verbrauchsströme, während die Theilströme in den einzelnen Zuleitungen sowohl im Ringe, als auch in den Hauptleitungen durch die Buchstaben a, beziehungsweise a' angegeben sind.

105. Das System der Centralstationen. Fig. 163 veranschaulicht die Stromvertheilung der Centralanlage von Siemens & Halske in Salzburg. Im Inneren des Leitungsnetzes befindet sich eine Maschinengruppe, von welcher die Speiseleitungen zu den Ausgleichs- oder Vertheilungsleitungen nach den Vertheilungspunkten

(Knotenpunkten) *A*, *B*, *C* und *D* geführt sind. In jeder Speiseleitung befindet sich ein Regulirwiderstand *R*. Diese Regulirwiderstände haben den Zweck, Spannungsschwankungen bei Ausschaltung größerer Lampengruppen zu verhindern. Den Hauptkabeln sind Spannungsleitungen (Prüfdrähte) beigegeben, mittelst welcher die Spannungen an den Verbrauchstellen kontrollirt werden. Um dieses Vertheilungssystem herum können wir uns ein zweites, drittes u. s. w. damit koncentrisches mit ebenso vielen Maschinengruppen gezogen denken, wie es z. B. bei den großen Edison-Anlagen der Fall ist.

106. Vertheilungssystem für große Centralstationen, Fig. 164, von Th. A. Edison.

Die Patentbeschreibung lautet: „Neuerungen in der Anordnung von Leitungen, um Elektricität von der Stromquelle an die Verwendungsstelle zu leiten". „Die Art und Weise, die Leitungen in einem Elektricitätszuführungssysteme zu legen, besteht darin, dass man diese Leitungen 1, 2, 3, ... in Sätzen koncentrisch zu einander und der allgemeinen Vertheilung der Häuserkreise folgend, anordnet, wobei jeder Satz mit der Stromquelle in der Centralstelle *C. S.* an einer größeren Anzahl von Punkten durch Verbindungsleitungen *a*, *b*, *c*, *a'*, *b'*, *c'*, Speiseleitungen oder Feeders, verbunden ist. Je weiter die Leitungen von der Stromquelle entfernt liegen, desto mehr nimmt ihr Querschnitt zu, um in allen Leitungen gleichen Widerstand zu haben." Bei der richtigen Bemessung der Speiseleitungen erhalten somit die Lampen in den verschiedenen koncentrischen Sätzen die gleiche Spannung, während sonst Lampen verschiedener Spannung Anwendung finden müßten. Lampen verschiedener Spannung erschweren die Bedienung der Centrale wesentlich und werden sehr häufig verwechselt; kommen im letzten Falle Lampen niederer Spannung an Orte höherer Spannung, so leben sie nur kurze Zeit, während Lampen zu hoher Spannung an Orten zu niederer Spannung dunkel brennen.

II. Indirekte Stromvertheilung.

107. Vertheilung mittelst eines Sammlers. Wird der Strom einer Stromquelle im Sammler angesammelt und zu beliebiger Zeit an das Leitungsnetz abgegeben, so nennt man diese Stromvertheilung eine indirekte. Die Sammler sind bei den meisten Anlagen mit der Dynamo und dem Leitungsnetze nebeneinander geschaltet. Zur Zeit der geringen Stromabgabe arbeitet der Sammler allein, zur Zeit der größten Stromabgabe dagegen in Nebeneinanderschaltung mit der Dynamo gemeinsam.

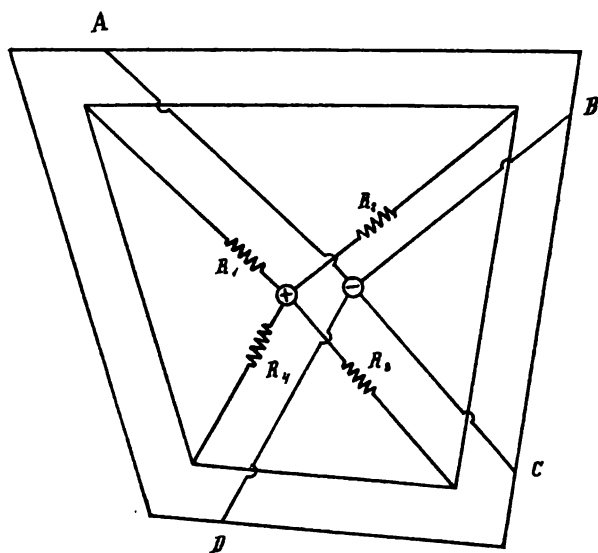


Fig. 163.

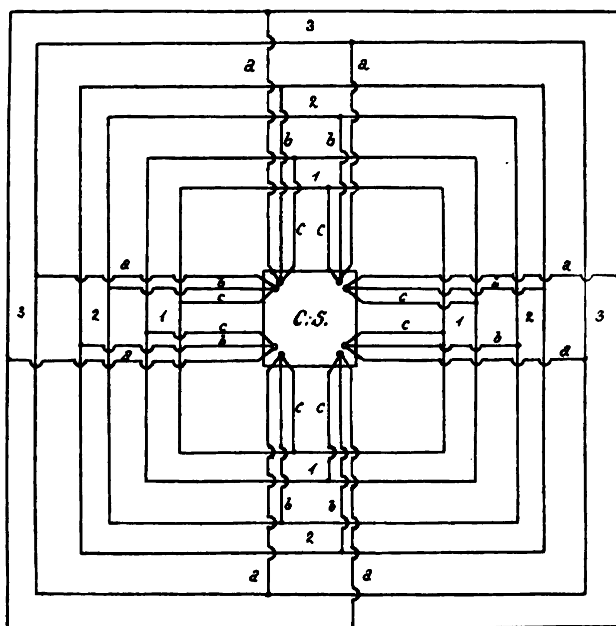


Fig. 164.

108. Vertheilung mittelst Sammler-Unterstationen. Dieses Vertheilungssystem schließt sich an die Umsetzung des Stromes durch Sammler (Seite 22) an. In großen Centralstationen werden in dem eigentlichen Beleuchtungsgebiete sogenannte Sammler-Unterstationen errichtet; letztere bestehen in der Regel aus je zwei Sammlern. Der Betrieb solcher Unterstationen ist zumeist so eingerichtet, dass zur Zeit der Ladung eines Sammlers der zweite Strom in das Leitungsnetz abgibt. Die Zellen des Sammlers, welche geladen werden, sind, der hohen Spannung des Leitungsnetzes entsprechend, hintereinander geschaltet, von den Zellen des Sammlers dagegen, welche entladen werden, ist der Strom an beliebigen Zellen für verschiedene Leitungsnetze mit niedrigen Spannungen abgezweigt. Die Stromabgabe der einzelnen Abtheilungen von Zellen kann weiters entweder einzeln, in Hintereinander- oder Nebeneinanderschaltung erfolgen.

109. Vertheilung mittelst Gleichstromumsetzer. Aus dem Maschinenhause führen bei diesem Systeme, ähnlich wie bei dem zuletzt besprochenen, die Leitungen zu einer Gleichstromumsetzerstation oder zu mehreren Gleichstromumsetzerstationen. Der hochgespannte Strom tritt in die dünnen Wickelungen der Umsetzer (Seite 16 ff.) ein, während die dicken Wickelungen den niedrig gespannten Strom in den Nutzstromkreis abgeben.

110. Vertheilung mittelst Wechselstromtransformatoren. Für die Beleuchtung auf sehr große Entfernungen hat bisher das Wechselstromtransformatorensystem mit nebeneinander geschalteten Apparaten, unbestritten die größte Bedeutung; dasselbe wurde praktisch schon bis auf Entfernungen von 175 *km* (I. Seite 280) für Licht- und Kraftzwecke angewendet.

a) Die Hintereinanderschaltung der Wechselstromtransformatoren, Fig. 165. Von einer Wechselstrommaschine *W. M.* aus geht eine Leitung durch die primären Windungen der Transformatoren T_1 bis T_6. Die sekundären Windungen sind in die betreffenden Lampenstromkreise eingeschaltet und können entweder sämmtlich hintereinander geschaltet sein oder, so wie es der Transformator T_4 in der Figur anzeigt, in Abtheilungen Verwendung finden. In derselben Figur bestehen die sekundären Windungen des Transformators T_4 aus zwei Abtheilungen, welche zwei voneinander vollständig getrennte Lampenstromkreise speisen. Für die Hintereinanderschaltung der primären Windungen erweist sich die Hintereinanderschaltung der Lampen als zweckentsprechend. Der Betrieb erfolgt mit beständiger Stromstärke. Die Spannung richtet sich nach der Anzahl der eingeschalteten Trans-

formatoren. Die Hintereinanderschaltung der Transformatoren fand zuerst bei den Transformatoren von Gaulard & Gibbs (Seite 3) in der elektrotechnischen Industrie praktische Verwendung.

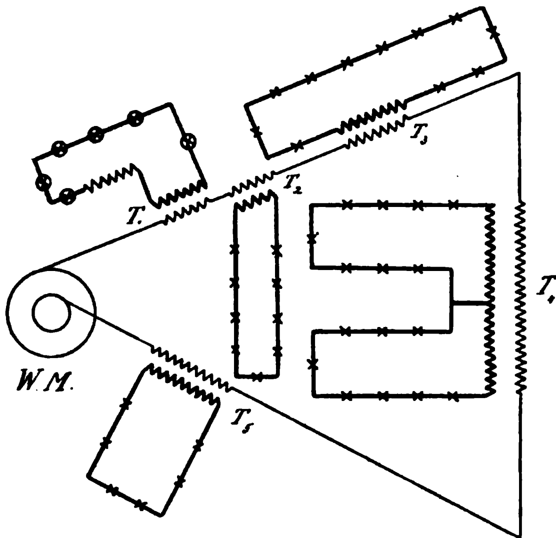


Fig. 165.

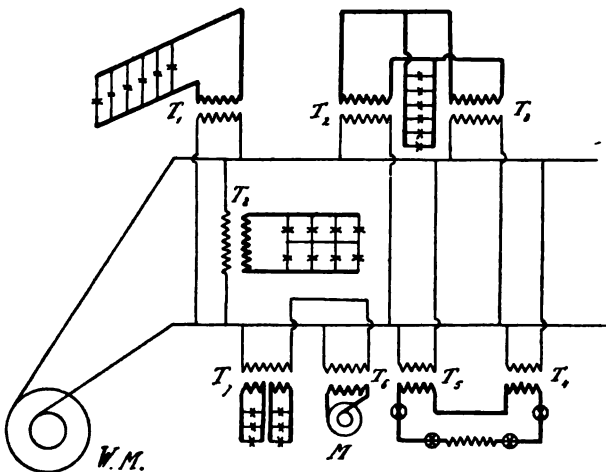


Fig. 166.

b) Die Nebeneinanderschaltung der Wechselstromtransformatoren, Fig. 166, wurde zuerst von Zipernovsky, Déri und Bláthy (Seite 5) im Jahre 1885 praktisch durchgeführt. Die

Wechselstrommaschine *W. M.* sendet den hochgespannten Strom in die Primärwickelungen der Transformatoren T_1 bis T_8, deren sekundäre Wickelungen in die Lampen-, beziehungsweise Motorenstromkreise eingeschaltet sind. Die Transformatoren T_2 und T_3 sind nebeneinander, in eine nebeneinander geschaltete Glühlampengruppe, die Transformatoren T_4 und T_5 hintereinander, in eine hintereinander geschaltete Bogenlampengruppe, eingeschaltet. Der Transformator T_6 treibt den Elektromotor *M* an. An die sekundäre Wickelung des Transformators T_7 schließen sich nebeneinander geschaltete Lampengruppen, in zwei getrennten Abtheilungen, an. Der Transformator T_8 speist nebeneinander geschaltete Lampengruppen unter Anwendung einer Ausgleichsleitung zwischen den Lampen. Große Wechselstrom-Beleuchtungsanlagen haben dieselbe Einrichtung wie Gleichstrom-Centralstationen (Seite 167, Fig. 164). Die Primärleitungen werden als geschlossene Leitungsnetze ausgeführt, welchen an bestimmten Knotenpunkten vermittelst eigener Speiseleitungen hochgespannter Wechselstrom zugeführt wird. Die sekundären Wickelungen arbeiten entweder unmittelbar im Lampen- oder Motorenstromkreise oder wieder in ein geschlossenes Leitungsnetz, von welchem aus einzelne Lampengruppen, beziehungsweise Motorenstromkreise abzweigen. Die Nebeneinanderschaltung der Transformatoren bedingt eine gleichbleibende Spannung im Leitungsnetze. Die Stromstärke verändert sich mit der Anzahl der eingeschalteten Transformatoren und mit der Anzahl der von den letzteren gespeisten Stromnehmern. Die Stromstärke stellt sich mit der Anzahl der Ampère im Stromkreise der Lampen, Motoren u. s. w. (Seite 6) selbstthätig ein.

X. Kapitel.

Leitungen.

111. Eintheilung. Die Leitungen zerfallen in:

1. Leitungen im Freien.
2. Leitungen in geschlossenen Räumen.
3. Unterirdische Leitungen.
4. Unterseeische Leitungen.

I. Leitungen im Freien.

112. Die Leitungen im Freien (Oberirdische, offene oder Luftleitungen) bestehen in der Regel aus blanken Kupferdrähten. Für Ströme von geringen Stromstärken eignen sich auch Siliciumbroncedrähte, da dieselben eine größere Festigkeit als Kupferdrähte besitzen,

und deshalb größere Spannweiten zulassen. Bei Bogenlichtleitungen sind oft Eisendrähte vortheilhaft verwendbar, da dieselben die Vorschaftwiderstände ersetzen. Das beste Isolationsmittel für die Leitungen bildet die Luft, da die Isolationsfähigkeit einer Leitung mit der Anzahl der Berührungspunkte derselben mit festen Körpern abnimmt.



Fig. 167.

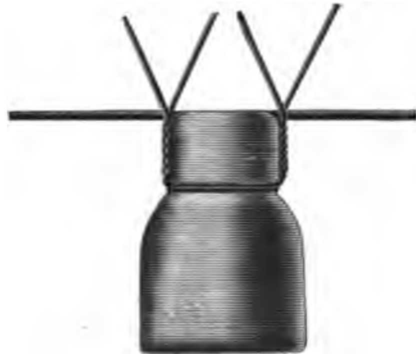


Fig. 168.

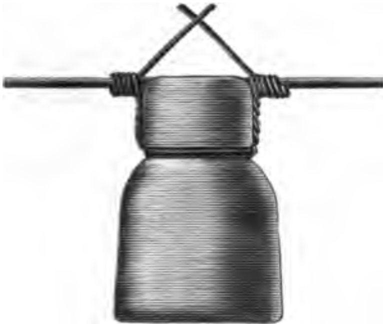


Fig. 169.



Fig. 170.

113. Befestigung der Leitungen im Freien auf Isolatoren. Die Befestigung der Leitungen im Freien erfolgt zumeist durch Bindedrähte an sogenannte Porzellanisolatoren (Porzellanglocken). Als Bindedrähte werden verzinkte Eisendrähte von etwa 1·5 bis 2 *mm* Durchmesser verwendet. Die Befestigung der Leitungen besorgt:

1. Der Oberbund, Fig. 167 bis 170, wenn die Leitung einen geradlinigen Verlauf hat. Die beiden Bindedrähte sind etwa 50 *mm* lang, werden, Fig. 167, mit ungleichen Ueberständen um den Hals des Isolators geschlungen und, so wie es Fig. 168 veranschaulicht, zusammengedreht. Die kurzen Drahtenden windet man, Fig. 169,

um die Leitung, die längeren werden über dem Kopfe des Isolators gekreuzt und, so wie es Fig. 170 darstellt, um die Leitung gewunden.

2. Der Seitenbund, Fig. 171 bis 173, wenn die Leitung in krummen Linien (Kurven) geführt wird; der seitliche Zug der Leitung darf jedoch nur auf dem Isolator und nicht auf den Bindedrähten lasten.

Man wählt den Bindedraht etwa 70 *cm* lang, legt denselben, Fig. 171, um die Leitung, schlingt die Drahtenden beiderseits einmal um den Hals des Isolators und kreuzt dieselben über der Leitung;



Fig. 171.



Fig. 172.



Fig. 173.

hierauf werden die Drahtenden nach Fig. 172 um die Leitung gewunden. Fig. 173 zeigt den fertigen Bund in der Seitenansicht.

Die Isolatorträger bestehen bei kleinen Isolatoren aus Rundeisen, bei größeren aus spießkantig gebogenem, an dem einen Ende cylindrisch ausgeschmiedetem Quadrateisen, Fig. 174. Soll der durch die Leitung ausgeübte Zug keine Drehung der Träger herbeiführen, so muss die Mittellinie der Holzschraube oder des Mauerbolzens durch die Mitte des Isolatorhalses gehen. Die Träger sind mit Holzschrauben versehen, wenn die Befestigung derselben an Holzstangen erfolgen soll; dann muss man die Träger senkrecht und so tief in das Holz einschrauben, dass noch ein Stück der nicht mit Gewinde versehenen Theile derselben in das Holz eindringt. In die Mauer werden die Träger durch Steinschrauben oder Mauerbolzen, Fig. 175, eingegipst. Muss man die Träger mit Holzschrauben in die Mauer eingipsen, so ist das Gewinde derselben, um gehörigen Halt zu erlangen mit Bindedraht zu umwinden. Der Isolatorkopf wird entweder durch Gipseinguss oder besser mittelst Hanf an dem Träger befestigt. Der Hanf wird, entweder getheert oder mit Leinöl getränkt, in einer nicht zu dicken Schicht um das, durch Meißelhiebe

Fig. 174.

Fig. 175.

eingekerbte, Ende der Stütze gewickelt, Fig. 174, und der innen mit Gewinde versehene Isolatorkopf kräftig aufgeschraubt. Die Porzellanisolatoren müssen an den Außen- und Innenwandungen emaillirt sein, um das Anhaften (die Adhäsion) fremder Körper zu verringern, die Reinigung zu erleichtern und das Eindringen von Feuchtigkeit von der Außen- nach der Innenwandung zu dem Eisenträger zu verhindern. Falls sich die Isolatoren mit Schmutz, Kohlen und Metallstaub (insbesondere auf Eisenbahnen), Thau u. s. w. überzogen haben, müssen dieselben äußerlich mit Wasser und Bürste, zwischen den Glockenwandungen, woselbst sich Staub und Spinngewebe festsetzen, mittelst

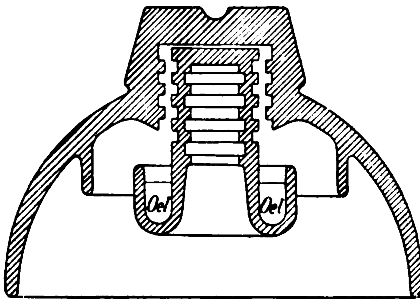


Fig. 176.

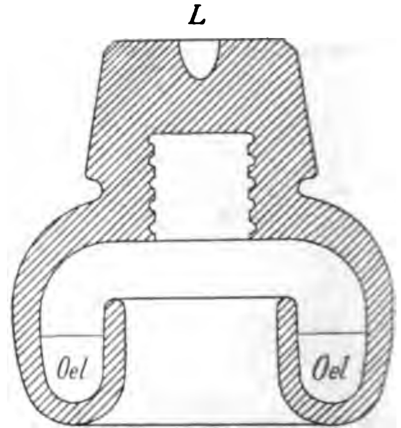


Fig. 177.

über einen Stab gewickelter Lappen, gereinigt werden. Gegen Thau schützt insbesondere die Tiefe der Glockenisolatoren.

In neuester Zeit benützt man zur Befestigung der Leitungen sehr hoch gespannter Ströme sogenannte Oelisolatoren, Fig. 176 bis 179. Dieselben haben den Zweck, die zuletzt erwähnte Schlussbildung durch Feuchtigkeit, zwischen der Leitung und dem Träger zu vermeiden. In der Rinne befindet sich Oel. Dringt Feuchtigkeit von der Leitung nach der Oberfläche des Oeles, so wird dieselbe, infolge ihres größeren specifischen Gewichtes, auf dem Boden der Rinne Platz finden und so den Träger nicht erreichen können. Aus dem „Berichte über die von der Maschinenfabrik Oerlikon vorgenommenen Versuche mit hochgespannten Strömen“ sei hier folgendes angeführt:

Die Versuchsleitung mit über 100 Isolatoren wurde Mitte November 1890 erstellt und unter allen nur denkbaren Witterungsverhältnissen

mit Spannungen bis zu 40.000 Volt belastet. Nie zeigten sich während dieser Versuchsdauer außergewöhnliche Erscheinungen, weder an dem Umsetzer, noch an der Leitung; auch ergab sich bei tagelanger Belastung der Letzteren mit etwa 30.000 Volt und gleichzeitiger Speisung von etwa 30 Glühlampen, dass die primäre Ampèrezahl am Anfang und Ende des Versuches bei Einhaltung konstanter Spannung genau die gleiche war. Wurde ferner der eine Pol an die Erde gelegt, so zeigten sich auch hier bei Steigerung der Spannung bis auf 30.000 Volt kaum merkliche Verluste. Bei den Versuchen wurde das in Fig. 176 abgebildete Modell mit einer Oelkammer verwendet. Da es sich bei praktischen Ausführungen, insbesondere bei dem Versuch Lauffen-Frankfurt, um viel größere Entfernungen und deswegen eine viel größere Menge von Isolatoren handelte, so wird es sich für die Praxis empfehlen, Isolatoren mit noch größerem Isolationsvermögen zu verwenden. Derartige Iso-

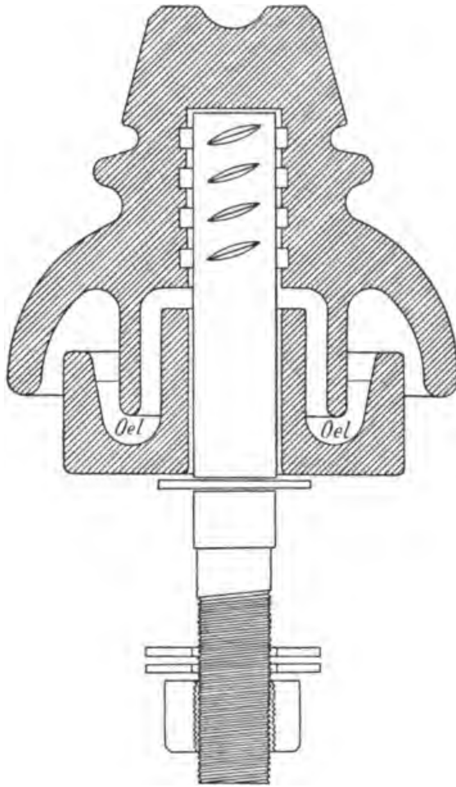


Fig. 178.

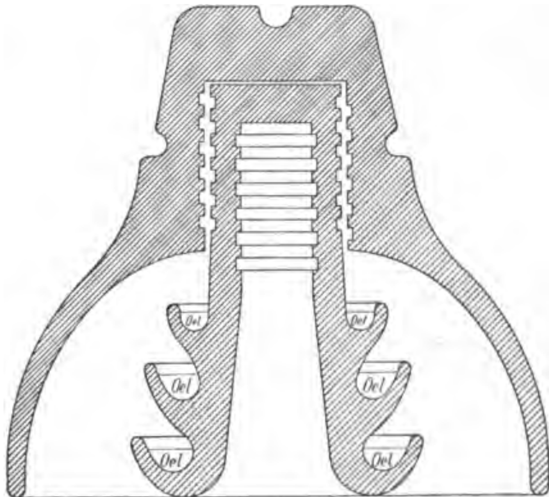


Fig. 179.

latoren sind in den Fig. 178 und 179 abgebildet. Bei der Konstruktion dieser Isolatorentypen wurde besonders die Vermehrung der Isolationsfähigkeit bei feuchter Witterung durch Verwendung mehrfacher Oelkammern, die Ermöglichung leichter Einfüllung und die Entnahme des Oeles, sowie der Schutz gegen mutwillige Beschädigung durch Steinwürfe ins Auge gefasst. In Fig. 179 ist ein zweitheiliger Porzellanisolator mit dreifacher Flüssigkeitsisolation abgebildet.

114. Leitungseinführung in Gebäude. An der Einführungsstelle in Gebäude müssen die Leitungen durch Hartgummi- oder Porzellanrohre oder Hartgummi- und Porzellanrohre, Fig. 180, gegen das Mauerwerk geschützt werden. Ueber das Hartgummirohr wird im letzteren Falle von außen eine Porzellanpfeife, Fig. 181 und 182, oder eine Porzellanmuschel, Fig. 183 (Schnitt) und Fig. 184 (Seitenansicht), von innen eine Porzellanröhre, Fig. 185, geschoben. Die Leitung muss von unten, ohne Spannung in die Durchführung eintreten, so dass an der Leitung herabfließendes Wasser nicht in die Einführung dringen kann. Zur Herstellung

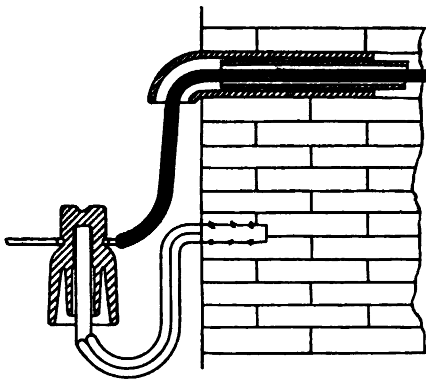


Fig. 180.

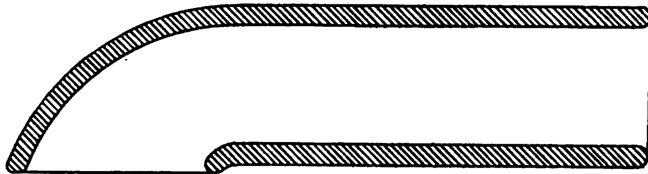


Fig. 181.

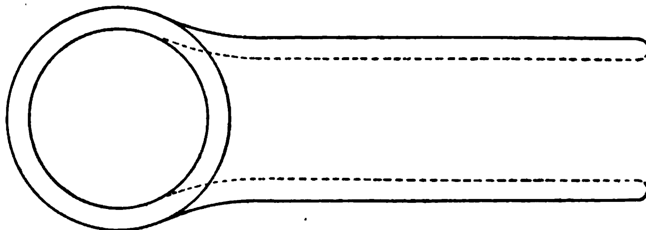


Fig. 182.

der, bei Mauereinführungen erforderlichen, Bohrlöcher benützt man Hohlmeißel (Mauerbohrer), Fig. 186, und zwar entweder Röhren aus Stahlblech, die am Ende gezahnt sind oder Gasrohre. Die Zähne werden unter demselben Winkel geschärft, wie beim Kreuzmeißel und etwas nach außen gebogen, damit der Bohrer beim Tieferwerden des Loches genügenden Spielraum behält. Der massive Ansatz soll das Spalten des Bohrers durch das Aufschlagen verhindern. Häufig verwendet man, an einer Seite gehärtetes Gasrohr (Gasrohrbohrer) oder gebohrtes Rundeisen zur Herstellung dieser Bohrer und gibt denselben grobe Zähne. Beim Bohren des Loches muss mit den Hammerschlägen zugleich das Drehen des Bohrers erfolgen. Um das Bohrmehl zu entfernen, wird der Bohrer von Zeit zu Zeit, im Augenblicke des Schlagens, derart gegen den Hammer gedrückt, dass keine Vertiefung des Loches, sondern ein Prellen des Bohrers erfolgt. Sind dicke Mauern zu durchbohren, so wendet man nach einander Bohrer von verschiedener Länge an.

115. Andere Luftleitungen. Flad befestigt die Leitungen zwischen haushohen Thürmen an Tragseilen. Die Thürme stehen an Straßenkreuzungen, zwischen denselben werden Tragseile zum Aufhängen der Leitungen gespannt.

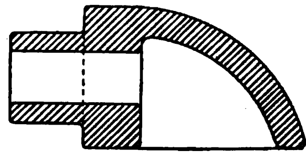


Fig. 183.

In großen Städten finden zumeist unterirdische Leitungen zu Licht- und Kraftzwecken Verwendung.

116. Anschluss isolirter Leitungen an blanke bei Leitungseinführungen in Gebäude und zur Aufhängung von Bogenlampen. Das Ende der blanken Leitung wird zweimal um den Isolatorhals geschlungen, hierauf mit dem gespannten Leitungstheil verlöthet, indem man bei schwächeren Leitungen, so wie es Fig. 187 zeigt, das Drahtende um die Leitung windet, und bei stär-

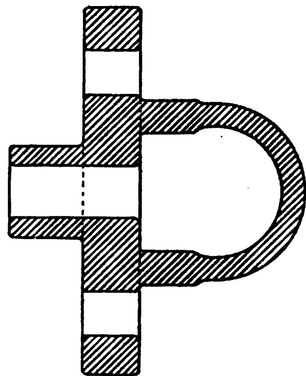


Fig. 184.

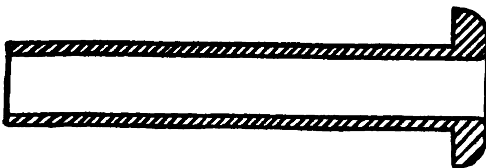


Fig. 185.

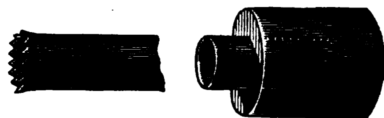


Fig. 186.

keren Leitungen, die über 4 *mm* dick sind, die Ueberbindung durch Umwinden mit dünnem Kupferdrahte herstellt. Das Ende der isolirten Leitung wird, vor der Verbindungsstelle der blanken Leitung mit derselben, verlöthet und derart um den blanken Draht geschlungen oder mit Bindedraht an dem Isolatorhals befestigt, dass man die Löthstelle bei Bewegung des, in der Regel lose herabhängenden, Drahtes nicht verletzt.



Fig. 187.

117. Leitungsträger. Als Träger der Luftleitungen finden Telegraphenstangen Verwendung; dieselben haben eine Länge von 7 bis 10 *m* und sind bis auf $^1/_5$ ihrer Länge in die Erde eingesetzt. In ebenen Gegenden neigt man die Stangen etwas gegen die Windrichtung. Dort wo die Leitungen Krümmungen machen, bringt man in der Richtung des Zuges Streben, Fig. 188, oder Verankerungen, Fig. 189, an. Die Zugrichtung halbirt den durch die Leitung gebildeten Winkel. Die Streben stützen sich einerseits in $^1/_3$ der Stangenhöhe unter einem Winkel von 45° gegen ein, mit Holzschrauben befe-

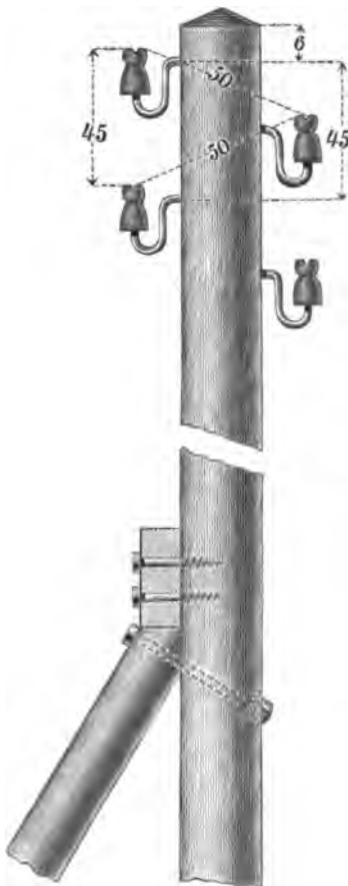


Fig. 188.

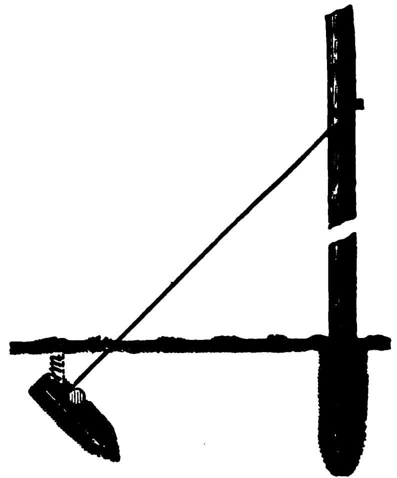


Fig. 189.

stigtes Stück harten Holzes, werden außerdem durch einen Schraubenbolzen mit der Leitungstragstange verschraubt, ragen 1 *m* in die Erde und stützen sich andererseits gegen einen flachen Holzpfosten oder Stein. Die Verankerung besteht aus einem Drahtseile oder aus zusammengewundenem, 3 *mm* starkem, verzinktem Eisendraht, welcher, sowie es die Fig. 189 zeigt, die Tragstange gegen eine, etwa 1 *m* in

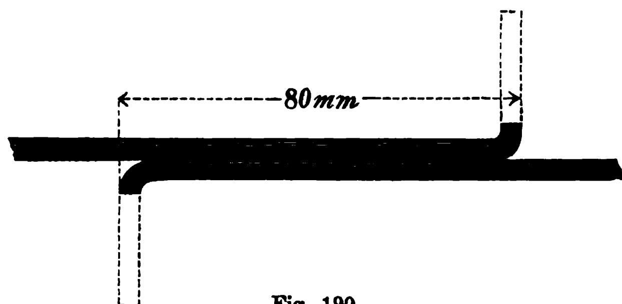


Fig. 190.

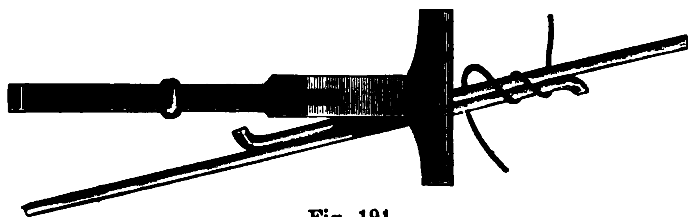


Fig. 191.



Fig. 192.

die Erde gegrabene Stange, in der entgegengesetzten Richtung des Zuges, spannt. Die Entfernung je zweier Leitungsstangen (die Spannweite) hängt von dem Materiale und der Stärke des zu verwendenden Drahtes sowie davon ab, ob die Leitung gerade oder in Krümmungen verlauft. Zwei nebeneinander führende Kupferdrähte von etwa 4 *mm* Durchmesser kann man beiläufig 40 *m* weit spannen.

118. Die Leitungskuppelungen. Die Verbindung blanker Leitungen erfolgt in derselben Weise, wie es die Fig. 190 bis 192 darstellen. Die zu verbindenden Drähte werden mittelst Glaspapier abge-

rieben, an den Enden etwas umgebogen, der Fig. 190 entsprechend aneinandergelegt, und durch einen Feilkloben gefasst, Fig. 191. Um die so vereinigten Drähte wird ein ebenfalls vollkommen blanker Bindedraht aus Kupfer von 1 *mm* Durchmesser herumgewunden. Der letztere Vorgang ist aus den Fig. 191 und 192 ersichtlich. Zum Löthen benützt man Kolophonium, oder eine wässerige Lösung aus Chlorzink oder das säurefreie Löthwasser von Langbein in Leipzig und sorgt dafür, dass das Löthzinn überall und möglichst gleichförmig in die Verbindungsstelle eindringt. Salzsäure darf beim Löthen von Leitungen keine Verwendung finden, da, selbst beim sorgfältigsten Abwaschen der Löthstelle und dem Trocknen derselben mit einem Lappen,

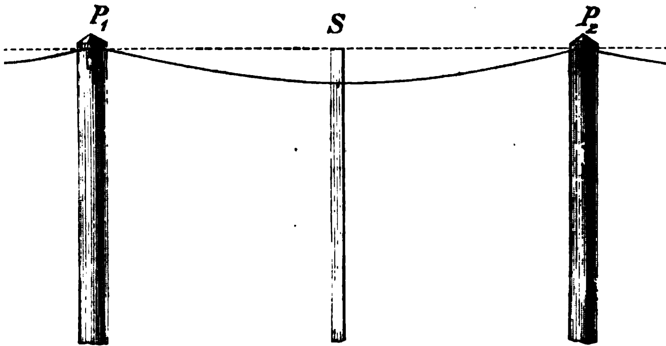


Fig. 193.

Spuren von Säure zurückbleiben, welche das Kupfer oxydiren und so schlechte Berührungsstellen herbeiführen. Das Löthzinn besteht aus gleichen Theilen Blei und Zinn.

119. Das Spannen der Leitungen, Fig. 193. Die Leitungen werden auf die Biegungen mehrerer Isolatorenstützen gelegt, mit Hilfe eines Flaschenzuges und einer Froschklemme, Fig. 194, gespannt, auf den Isolator gelegt und an demselben fest gebunden. Dabei ist der in Drahtringen (Bünden) zur Verwendung kommende Draht, um Querschnittsänderungen und Verdrehungen desselben zu vermeiden, beim Abrollen senkrecht zu halten; lässt man dagegen den Drahtring am Boden liegen, so wird derselbe verdreht und spannt sich nur mühsam. Die Backen der Froschklemmen dürfen nicht rauh sein, weil sonst leicht eine Beschädigung des Drahtes stattfinden kann. Die Stelle der Froschklemme kann im Nothfalle auch ein Feilkloben versehen. Die Krümmungen starker Drähte lassen sich durch das Spannen allein nicht beseitigen; in diesem Falle empfiehlt es sich, die Leitung

zwischen zwei Hölzern, die man in der Hand hält, so lange und so stark zu streichen bis dieselben beseitigt sind. Das Spannen der Leitungen von 5 *mm* Durchmesser aufwärts ist sehr schwer ausführbar. Man ersetzt deshalb starke Leitungen durch mehrere zusammengewundene Drähte (Litzen) oder durch mehrfache schwächere Drähte, welche man mittelst eines runden Eisenstabes zusammendreht. Den Eisenstab schiebt man in der Mitte zweier Stützpunkte zwischen die Drähte; die Drähte vertheilen sich nur dann gleichmäßig, wenn dieselben während des Zusammenwindens schwingen. Die Oeffnung, welche der Eisenstab hinterlässt, drückt man zusammen. In der Fig. 193 deutet die punktirte Linie die gerade Verbindung zwischen zwei aufeinanderfolgenden Stützpunkten der Leitungen an. Die bestgespannte Leitung weicht jedoch, infolge ihres Gewichtes, von dieser geraden Linie ab, man sagt: „Sie hängt durch". Der Durchhang (die Pfeilhöhe) soll etwa 50 bis 100 *cm* betragen. Diesen gleichmäßigen Durchhang auf der ganzen Strecke stellt man durch den, in der Fig. 193 versinnlichten, Vorgang her. An einer Stange befindet sich, in der Pfeilhöhe von ihrem oberen Ende *S*, ein Stift. Derselbe berührt in der Mitte des Durchhanges die Leitung. Die Spitze *S* der Stange und die Befestigungspunkte der Leitung P_1 und P_2 müssen in einer Geraden liegen; diese Lage kann man von P_1 oder P_2 aus durch Visiren beobachten.



Fig. 194.

II. Leitungen in geschlossenen Räumen.

120. Leitungsmateriale. Blanke Drähte werden in geschlossenen Räumen nur selten und fast immer nur bei Spannungen bis zu höchstens 100 Volt verwendet. Fälle in welchen blanke Leitungen verlegt werden können, sind die Verlegung der Leitungen in sehr feuchten Räumen oder in solchen Räumen, welche nur Fachkundigen zugänglich sind oder die Verlegung der Hauptleitungen; in dem letzten Falle werden die Abzweigungen mit baumwollumsponnenen Drähten ausgeführt. Zumeist finden in geschlossenen Räumen isolirte Leitungen Verwendung. Die wichtigsten Arten der Isolation sind:

1. Isolationshüllen, das sind Umspinnungen, beziehungsweise Umklöppelungen mit Jute, Hanf, Baumwolle, Leinenzwirn, Seide u. s. w., welche zumeist mittelst Wachs, Theer oder Asphalt getränkt sind. Drähte, mit dieser Isolation versehen, eignen sich für trockene Räume..

2. Das Tränken der Isolationshüllen mit Isolirflüssigkeit (bestehend aus Theer, Harz, Wachs, Pech, Guttapercha, Kautschuk, Stearin, Paraffin u. s. w.) soll die Kupferseele vor Feuchtigkeit (insbesondere Wasser) schützen.

3. Asphalt wirkt den chemischen Agentien (Kalk, Cement, organische und anorganische Säuren) im Erdboden entgegen. In Kloaken und Düngstätten z. B. bildet sich infolge von Ammoniakentwickelung Salpetersäure, in humusreichem Boden ist das Auftreten organischer Säuren zu befürchten. Getheerte und asphaltirte Jute bleibt auch von den Nagethieren verschont.

4. Sand. Asphalt mit Sand vermischt wird erfolgreich gegen die Beschädigung der Kabel durch Thiere im Meere verwendet.

5. Papiermasse. Interior Conduit and Insulation Company in New-York[1]) haben zuerst Röhren aus Papiermasse zur Aufnahme von Leitungen hergestellt.

6. Asbest ist äußerst hygroskopisch und kann deshalb leicht Feuchtigkeitsschlüsse verursachen. Die Verwendung desselben beschränkt sich auf sehr heiße oder feuergefährliche Räume.

7. Guttapercha heißt eine Gummiart, welche aus einem Baume (Isonandra gutta), vornehmlich im südlichen Asien vorkommend, gewonnen wird. Guttapercha ist für Wasser undurchdringlich und dient deshalb zur Herstellung von Isolationshüllen solcher Leitungen, die in sehr feuchten Räumen oder unter Wasser verlegt werden müssen.

8. Kautschuk stammt hauptsächlich aus Brasilien und Guyana, woselbst er sich in dem Safte mehrerer Pflanzen (namentlich in jenem der Evea Guyanensis) vorfindet. Kautschuk schmilzt erst bei 145° *C*, verändert sich wenig an der Luft, wenn er mit Schwefel imprägnirt (vulkanisirt) wurde. Kautschuk nimmt unter Druck bis zu 25% Wasser auf und muss deshalb für unterseeische Leiter mit Mischungen aus Guttapercha, Harz u. s. w. präparirt werden. Bevor man die blanken Leitungen aus Kupfer mit Kautschuk überzieht, muss man dieselben verzinnen, weil sich sonst der Schwefel des Kautschuks mit dem Kupfer verbindet.

9. Blei. Mit Blei umgepresste Kabel sind gegen Temperatureinflüsse unempfindlich. Die Dicke des Bleimantels beträgt 1 bis 3 *mm*. Die Umpressung der Kabel mit Blei kann erfolgen:

---

[1]) F. Uppenborn, Elektrotechnische Zeitschrift, Berlin 1891, Heft 17.

a) Auf kaltem Wege. Solche Kabel werden von der Firma Siemens & Halske in Wien, Berlin, London und Petersburg erzeugt. Der auf das Blei in Bleipressen ausgeübte Druck beträgt 3000 Atmosphären. Diese Bleimäntel sind vollkommen wasserdicht und es genügt ein einziger Mantel zum dichten Abschlusse des stärksten Kabels vor Feuchtigkeit.

b) Auf heißem Wege. Diese Mäntel sind weniger dicht und müssen immer zwei- oder dreifach angewendet werden, damit die undichten Stellen des einen, von den dichten Stellen des anderen gedeckt werden.

Bleikabel können nur dort, wo dieselben vor mechanischen Beschädigungen und chemischen Zersetzungen geschützt sind, die folgenden Kabel mit Eisenbandarmatur dagegen überall Verwendung finden.

10. Eisenbandarmatur. Den sichersten Schutz vor mechanischen Beschädigungen bietet eine Umwickelung der Kabel mit doppelten Eisenbändern, welche so aufgewickelt werden, dass sie sich nicht vollständig decken.

11. Verzinnte Eisendrahtarmatur. Kabel, welche hohen Zugkräften ausgesetzt sind, werden am besten mit verzinnten Eisendrähten umflochten.

Die Verlegung der, mit den unter 9, 10 und 11 erwähnten Isolationen versehenen, Leitungen erscheint, schon der Kosten wegen, in geschlossenen Räumen ausgeschlossen und soll erst bei den unterirdischen Leitungen besprochen werden.

121. Kuppelung isolirter Leitungen. Miteinander zu verbindende Drähte oder Litzen sind an den Enden, etwa auf einer Strecke von 5 bis 10 *cm*, mit einem Messer abzuschaben. Insbesondere bei schwachen Drähten soll die Isolation nicht durch einen, um den Draht geführten, Schnitt entfernt werden, weil das Anschneiden des Drahtes hierbei fast unvermeidlich ist. Durch den letzteren Vorgang wird somit der Drahtquerschnitt geschädigt und der Widerstand der Leitung erhöht; häufig bricht der Draht, früher oder später, an der Schnittstelle. Die zu verbindenden Leitungsenden schabt man weiters vermittelst Glaspapier sorgfältigst ab. Beim Verlöthen der Kuppelung ist insbesondere darauf Rücksicht zu nehmen, dass die Isolation nicht anbrennt. Die am häufigsten angewendeten Verbindungen von Drähten sind der Würgebund, Fig. 195, und der Wickelbund, Fig. 196. Der erste Bund dient insbesondere zur Kuppelung schwacher Drähte. Aus der Fig. ersieht man, wie solche Drähte zusammengewürgt werden. Der Wickelbund findet bei stärkeren Drähten Anwendung; seine Her-

stellung erfolgt wie die des, in den Fig. 190 bis 192 ersichtlichen, Bundes. Ebenso stellt man die Verbindung zwischen litzenförmigen Leitungen her; bei den letzteren werden auch häufig die Litzenenden, sowie es Fig. 197 an einer sehr starken Litze wiedergibt, miteinander verflochten. Starke Litzen sind aus einer Litze von starken Kerndrähten und einer Litze darüber befindlicher Deckdrähte aufgebaut.



Fig. 195.



Fig. 196.

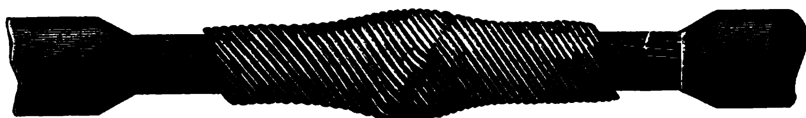


Fig. 197.

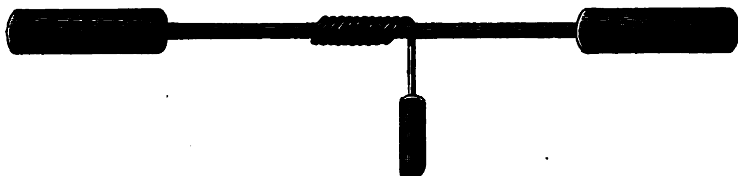


Fig. 198.

Der Vorgang bei der Herstellung der Kuppelung ist der folgende: Nachdem man die Kernlitzen auf einer Strecke von etwa 8 *cm* freigelegt hat, schneidet man dieselben ab, schiebt sie mit ihren Schnittflächen aneinander, steckt die Deckdrähte der beiden Litzen in regelmäßiger Vertheilung ineinander und windet ihre Enden um die Verbindungsstelle. Es ist insbesondere dafür Sorge zu tragen, dass das Löthzinn in sämmtliche Zwischenräume der Kuppelung eindringt.

Fig. 198 zeigt die Verbindung einer schwachen Hauptleitung mit einer Zweigleitung; letztere erscheint um die erstere herumgewunden. Ebenso werden Abzweigungen von litzenförmigen Leitungen, Fig. 199, hergestellt.

Fig. 200 gibt ein Bild der Kuppelung einer Litzenhauptleitung mit einer Litzenabzweigung. Die Drähte der Zweiglitze erscheinen in zwei gleichen Theilen um die Hauptlitze gewunden.

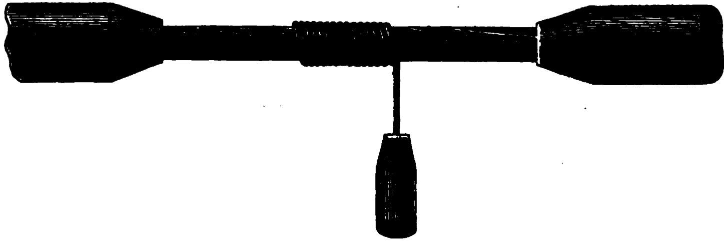


Fig. 199.

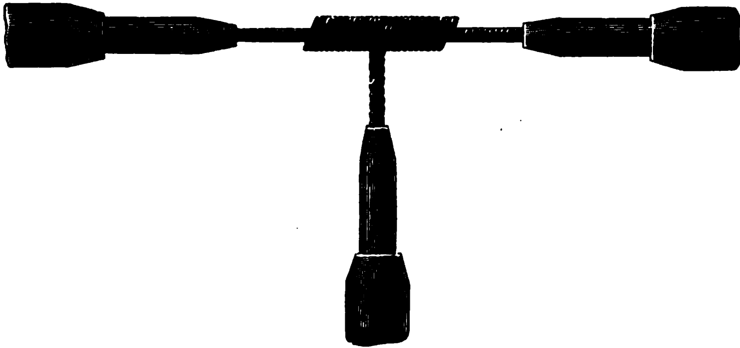


Fig. 200.



Fig. 201.

Die Kuppelung einer starken Litze mit einer schwachen stellt Fig. 201 dar. Die Drähte der Abzweiglitze werden in zwei Theile getheilt und um einige Drähte der Hauptlitze herumgewunden. Der

Querschnitt, der zur Kuppelung benützten Hauptdrähte, muss dem Querschnitte der Abzweiglitze mindestens gleich sein.

Eine Kuppelung erweist sich nur dann als verlässlich, wenn die Löthstellen äußerst solid hergestellt sind.

Fig. 202 veranschaulicht ein perspektivisches Bild einer Muffenabzweigung. Diese Kuppelung findet insbesondere bei sehr starken Drähten und Litzen Verwendung. Es erweist sich als zweckmäßig, die Muffen mit einer Reihe von Oeffnungen zu versehen, weil das Löthzinn

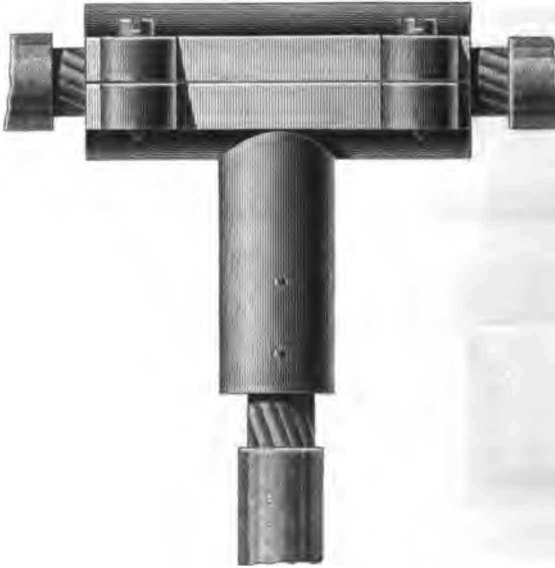


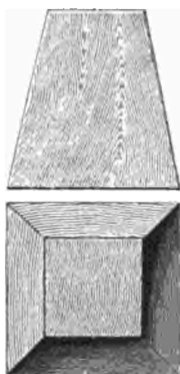
Fig. 202.

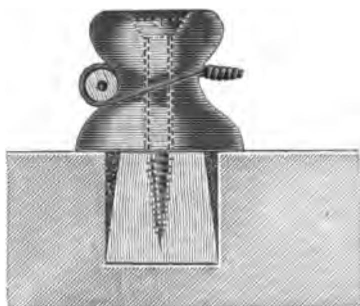
nur dann alle Zwischenräume, zwischen Leiter und Muffe, auszufüllen vermag. Die Verbindung der Muffe mit der Hauptleitung kann auch durch das Zusammenschrauben derselben erfolgen. Muffenverbindungen sind auch für mehrere Abzweigungen herstellbar.

Die Verbindungen und Abzweigungen der Eisenpanzerkabel folgen an weiterer Stelle.

122. Verlegung durch Anstiften der Leitung. Diese Verlegungsart ist aus der Schwachstromtechnik und zwar insbesondere aus der Telegraphie, Telephonie und dem Signalwesen in die Starkstromtechnik eingeführt worden; sie stellt die älteste Verlegungsart elektrischer Leitungen dar. In der elektrischen Beleuchtung und Kraftübertragung ist dieses System jedoch, als gänzlich mangelhaft, durch eine Reihe ande-

rer Systeme verdrängt worden. Die Verlegung durch Anstiften der Leitungen besteht darin, dass man baumwollumsponnene Drähte vermittelst Drahtkrampen an der Wand oder Decke befestigt. Anwendbar erscheint diese Verlegung nur dann, wenn die Mauern vollkommen trocken sind, weil sonst der Kalk die Isolation des Drahtes zerstört. Selbst bei trockener Unterlage sollen die Leitungen auf Holzleisten verlegt werden. Auf je 1 *m* Länge des Drahtes rechnet man mindestens eine Drahtkrampe. Dort wo die Krampe den Draht fasst, ist die Isolation desselben durch Isolirband oder Gummizwischenlagen besonders vor Beschädigung zu schützen. Liegen die Drähte sehr nahe nebeneinander, so sind die Krampen öfters zu befestigen und gegeneinander zu versetzen, weil sonst leicht zwischen denselben Schlüsse eintreten können.


Fig. 203.


Fig. 204.

123. Verlegung mittelst Porzellanrollen. Die Rollen werden entweder auf Holzdübel oder Holzleisten aufgeschraubt.

a) Das Aufschrauben der Porzellanrollen auf Holzdübel, Fig. 203. Sämmtliche Isolationsvorrichtungen an Wänden und Decken werden in der Regel auf Holzdübel aufgeschraubt. Die Holzdübel, sind aus hartem Holze hergestellt und haben die Form einer abgestutzten Pyramide, Fig. 203. Die Grundfläche der Pyramide kann entweder quadratisch (zur Aufnahme nur einer Rolle) oder rechteckig, zur Aufnahme mehrerer Rollen) sein. Zur Befestigung mehrerer Rollen nebeneinander können weiters auch zwei Dübel, mit quadratischer Grundfläche, Verwendung finden, auf welche ein Holzbrettchen und erst auf dieses die Isolationsvorrichtungen aufgeschraubt werden. Das Holzdübel gipst man, sowie es Fig. 204 zeigt, mit der Grundfläche nach innen, in eine, mittelst Gasrohrbohrer ausgestemmte, Oeffnung ein. Die Fläche

der Maueröffnung soll nur unbedeutend größer sein als die größere, in der Mauer befindliche, quadratische Fläche der Pyramide. Die Porzellanrolle wird auf das Dübel mittelst einer Holzschraube, Fig. 204, aufgeschraubt. Die Befestigung des Leitungsdrahtes an der Rolle besorgt ein verzinkter Eisendraht von 1·5 bis 2 *mm* Durchmesser; derselbe wird, in der aus der Figur 204 ersichtlichen Weise, um den Draht und um

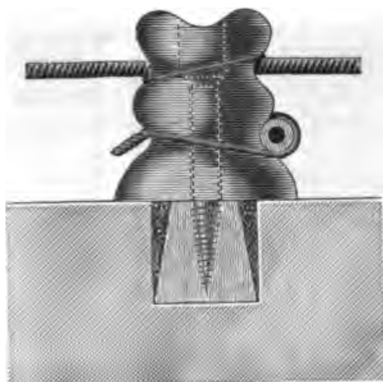


Fig. 205.

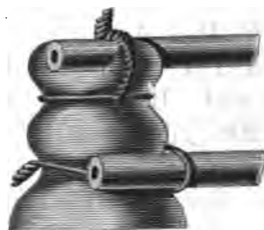


Fig. 206.

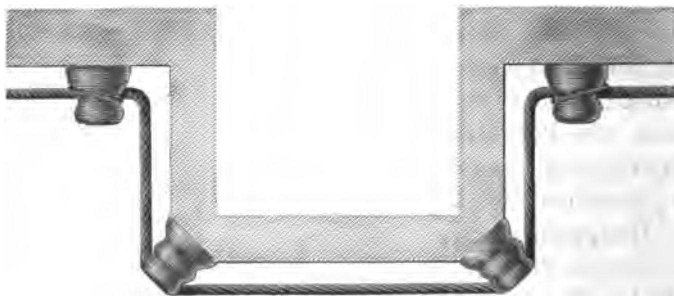


Fig. 207.

die Rolle geschlungen und vermittelst einer Zange zusammengewürgt. Allenfalls überstehende Drahtwindungen zwickt man ab. Nur ganz schwache Drähte dürfen um die Rolle geschlungen und mit einem Bindedraht befestigt werden.

Sich kreuzende Leitungen verlegt man auf sogenannte **Kreuzungsknöpfe**, Fig. 205 und Fig. 206. Die eine Leitung wird in der unteren Rille, die andere in dem Einschnitte des Knopfes angebunden. Das Befestigen des Drahtes in der Rille erfolgt wie in Fig. 204. Behufs

anbinden des Drahtes in dem Einschnitte des Knopfes legt man, von den zwei vollen Seiten des Knopfes aus, je einen Draht um den halben Umfang der oberen Rille, Fig. 205, und würgt die zusammengewürgten Enden über dem Knopfe, Fig. 206, nochmals zusammen.

Eine vortheilhafte Anwendung der Kreuzungsknöpfe zeigt Fig. 207. In dieser Figur führt eine Leitung um eine scharfe Ecke (Mauerecke, Pfeiler, Balken u. s. w.)

b) Das Aufschrauben der Porzellanrollen auf Holzleisten. Fig. 208 gibt diese Verlegungsart in der von der Firma Ganz & Co. in Budapest ausgeführten Weise wieder. Beide Pole sind durch die, in der Figur ersichtliche, Porzellanbleisicherung geschützt.



Fig. 208.

Führen die Leitungen durch eine Mauer, Fig. 209, so werden dieselben in der Regel an der Durchführungsstelle durch eine Glas-, Porzellan- oder Hartgummiröhre isolirt. Häufig verwendet man eine Porzellanmauerdurchführung sammt einer, in derselben befindlichen, Hartgummiröhre; durch die letztere führt der Leitungsdraht. Bei starken Mauern werden zwei Porzellandurchführungen, von den beiden Seiten der Oeffnung aus, sowie es die Fig. 209 veranschaulicht, gegeneinander geschoben. Durch beide Röhren führt ein Hartgummirohr.

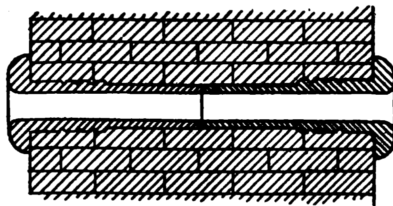


Fig. 209.

Dieselben Mauerdurchführungen finden bei sämmt-

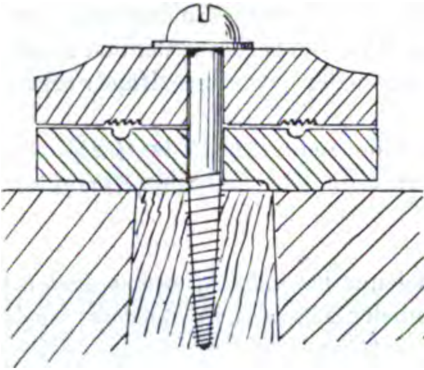


Fig. 210.



Fig. 211.

lichen Verlegungsarten der elektrischen Starkstromleitungen Verwendung.

124. Verlegung mittelst Klemmen, Fig. 210. Die Klemmen bestehen aus Holz, Glas, zumeist aber aus Porzellan. Die zwei Theile (Backen) derselben werden, sammt der Leitung, entweder auf Dübel oder auf Holzleisten aufgeschraubt.

125. Verlegung in Holzleisten. Diese Verlegung der Leitung erfolgt in, mit Nuten versehene, Holzleisten, Fig. 211. Die Holzleisten können entweder an die Mauer oder die Decke oder unter den Verputz auf Holzdübel aufgeschraubt werden. Das Bild zeigt eine bei der Firma Ganz & Co. in Budapest übliche und vielfach erprobte Verlegungsweise.

126. Verlegung in Holzkästen. In sehr feuchten Mauern verlegt man die Leitungen, zur Erzielung sehr hoher Isolationswiderstände in Holzkästen (Holzkanäle); in den letzteren sind Porzellanrollen oder Isolirglocken zum anbinden der Leitungen aufgeschraubt.

127. Die Verlegung in Papierröhren.

Das Hausinstallationssystem von S. Bergmann & Co., Aktiengesellschaft in Berlin (Ernst Jordan in Wien).

Einer der jüngsten Zweige der Technik, die moderne Elektrotechnik, verdankt ihr rasches Emporblühen der hohen Entwickelung seiner verwandten Wissenschaften und Künste, die durch langjährige Erfahrung mustergiltige Vorbilder schufen. So schließt sich das Berg-

mann System an das vollkommen ausgebildete Rohrsystem der Gasinstallateure an; es stellt somit ein Hausinstallationssystem vor, an dessen zweckentsprechende Ausführung jeder tüchtige Handwerker schreiten kann.

Zuerst wurden Versuche angestellt die Leitungen in die Gasröhren selbst zu verlegen. Diese Versuche ergaben, da das Eisen ein guter Wärmeleiter ist, eine sehr starke Bildung von Kondensationswasser in den Röhren. Man musste deshalb nach einem andern Rohrsysteme, dessen Materiale ein schlechter Wärmeleiter beistellt, Umschau halten. Ein solches System wurde zuerst von der Interior Conduit and Insulation Company in New-York erzeugt.

S. Bergmann & Co. haben schon von Amerika aus, diese Röhren in Europa eingeführt und im Jahre 1891 die Fabrikation derselben in Berlin aufgenommen.

Das Materiale der Röhren besteht aus einer Papiermasse. Mit den Röhren werden die Decken und Wände von Innenräumen (insbesondere Wohnräumen) versehen, so dass die Leitungen jederzeit, selbst erst lange Zeit nach Fertigstellung des Baues, in die Röhren eingezogen oder aus denselben herausgezogen werden können.

I. Das Zugehör.

1. Die Röhren. Die Röhren sind aus einer imprägnirten Papiermasse hergestellt und haben ein den Hartgummiröhren ähnliches Aussehen. Durch die Imprägnirung erlangen die Röhren die nöthige Festigkeit und Härte, werden wasserdicht, erhalten einen hohen Isolationswiderstand und bekommen innen und außen eine gleichmäßige Oberfläche. Die Röhren werden in den lichten Weiten von 7, 11, 16, 23, 29, 36 und 48 *mm* angefertigt. Das 7 *mm* Rohr findet hauptsächlich für Haustelegraphen und Telephonleitungen praktische Verwendung. Die Wände der Röhren werden so stark bemessen, dass die Röhren von 11 *mm* aufwärts ineinander Platz finden; die letzteren sind entweder gerade oder ellbogenförmig oder doppelt gekrümmt (S-förmig). Die geraden Röhren haben eine Länge von 3 *m*. Sämmtliche Röhren werden in der Regel mit einer angeschlossenen Verbindungsmuffe, Ellbogen und Kröpfungsstücke mit einer angeschlossenen Verbindungsmuffe oder mit zwei angeschlossenen Verbindungsmuffen geliefert.

Fig. 212 zeigt, zwei miteinander durch eine Muffe verbundene, gerade Röhren, während Fig. 213 einen Ellbogen sammt zwei Muffen darstellt.

Zum Verlegen in Cement werden die Isolirröhren, um sie von den, in dem Cement enthaltenen, Aetzlaugen zu schützen, mit einem

Ueberzug aus Stahl oder Messingblech versehen. Alkalien greifen Stahl und Messing nicht an. Diese Röhren können deshalb in Betonfußböden und sonstiges Cementmauerwerk eingebettet werden.

Fig. 214 veranschaulicht einen Ellbogen mit Metallüberzug und angeschlossenen Muffen.

Damit die Röhren vollständig gerade erhalten bleiben, ist es erforderlich, dieselben liegend aufzubewahren.

Es tritt häufig der Fall ein, dass offen verlegte Röhren, der Zimmereinrichtung entsprechend, bemalt werden sollen. Da die Isolirrohre in ihrem natürlichen Zustande keine Oelfarbe annehmen, ist es erforderlich, sie vorher mit aufgelöstem Schellack anzustreichen; sodann lässt sich die Oelfarbe ohne Schwierigkeit auftragen.

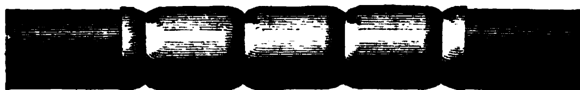


Fig. 112.

Zur Befestigung der Röhren an die Mauer oder unter Verputz dienen:

a) Die Krampen. Das in Fig. 215 abgebildete Werkzeug hat den Zweck, das Rohr vor zu starkem Antreiben der Krampen zu schützen.

b) Die Messingbänder, Fig. 216. Das Band wird vermittelst einer Schraube, welche durch das, in der Figur ersichtliche, Loch führt, an der Wand oder Decke befestigt, um das Rohr herumgelegt und dadurch geschlossen, dass man die Zunge durch den Schlitz hindurch steckt und umbiegt.

c) Die Rohrschellen. Bei offener Verlegung der Röhren werden, sowie bei der Gasinstallation, zweckmäßig Rohrschellen, Fig. 217 und 218, verwendet.

d) Die tortirten Eisendrähte. Bei der Verlegung unter Verputz bedient man sich in der Regel des, in Fig. 219 veranschaulichten, Eisendrahtes. Derselbe wird ohne Dübel einfach vermittelst eines Nagels an das Mauerwerk befestigt. Die beiden Enden des Eisendrahtes werden um das Rohr herumgeschlungen.

2. Die Dosen. Die Dosen sind ebenfalls aus derselben Papiermasse hergestellt, haben starke Wände und sind mit einem Metallrand, welcher einen vollständigen Verschluss des Deckels sichert, versehen. Für besondere Zwecke werden auch die Dosen mit einem Metallblech

Fig. 213.

Fig. 214.

Fig. 215.

Fig. 216.

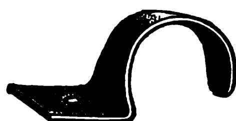


Fig. 217.



Fig. 218.



Fig. 219.

überzogen. Die Dosen kommen in 16 verschiedenen Abänderungen und in 2 verschiedenen Größen mit den Durchmessern von 55 und 78 *mm* zur Ausführung.

Fig. 220 gibt eine solche Abzweigdose wieder.



Fig. 220.

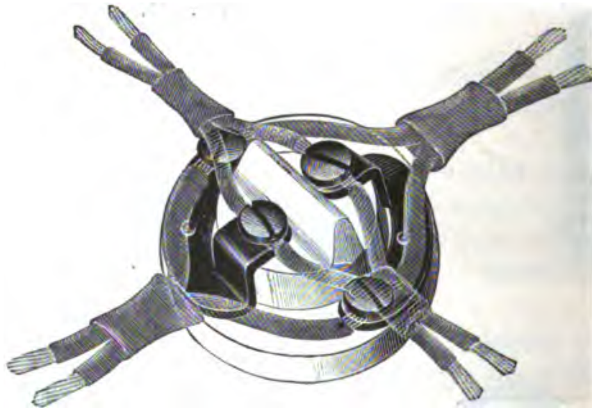


Fig. 221.

Fig. 221 stellt eine in den Dosen verwendbare Abzweigscheibe dar. Diese Abzweigscheiben sind aus Porzellan angefertigt und machen Löthstellen entbehrlich. Die Anordnung der Abzweigscheiben ist derart. dass beliebig nach einer oder zwei Seiten gleichzeitig abgezweigt werden kann, oder dass eine der beiden Klemmen nach dem Stromabnehmer. die andere dagegen nach einem einpoligen Ausschalter führt, während ein verbindender Leitungsdraht, von dem Ausschalter über die Ab-

zweigscheibe hinweg, an den Stromabnehmer anschließt. Alle Abzweigdosen werden mit einfachen und doppelten Anschlüssen für Mauerdurchführungen versehen. Eine solche Dose mit einfacher Mauer-



Fig. 222.

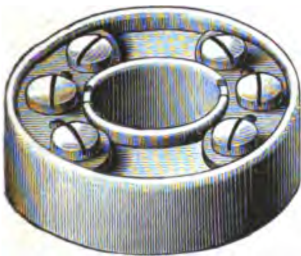


Fig. 223.

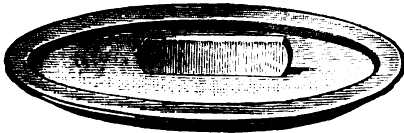


Fig. 224.

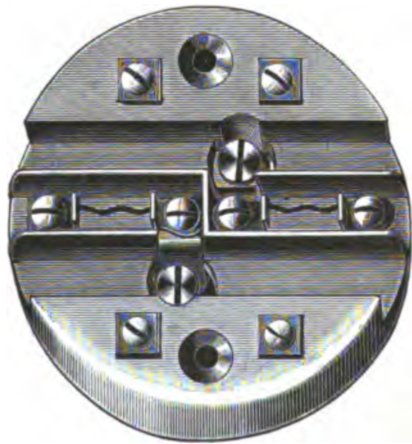


Fig. 225.

durchführung zeigt Fig. 222; eine in derselben platzfindende Abzweigscheibe mit centrischer Öffnung gibt Fig. 223 wieder. Den Verschluss der Abzweigdosen besorgt der in Fig. 224 veranschaulichte Deckel. Fig. 225 stellt einen doppelpoligen Porzellanbleischalter für eine Dose dar.

In Fig. 226 erscheint ein Momentausschalter. mit stromfreiem Drehstern in einer Dose untergebracht. Nach außen hin sind nur der Deckel und der Griff des Ausschalters sichtbar, die Dose schließt mit der Wand ab. Auch bei offener Montage finden ähnliche Ausschalter Verwendung. Die nachträgliche Herstellung von Abzweigungen an bereits fertigen Leitungen wird durch getheilte Abzweigdosen vorgenommen.

Die Dosen zerlegen, behufs Einziehens und Auswechselns der Drähte, Prüfung der Leitung u. s. w., größere Leitungslängen in Unterabtheilungen. Befindet sich eine Dose an der Decke, so kann man durch eine Öffnung des Deckels eine Leitungsschnur führen. Die Dose trägt z. B. eine Schraubenmutter, Fig. 227, in welche ein Papierrohr als Pendel für eine Hängelampe vermittelst eines Schraubengewindes eingeschraubt wird. Ähnlich befestigt man an Dosen, welche an der Wand angebracht sind Wandlampen (Wandarme).

3. Die Vertheilungskästen, Fig. 228. Die Vertheilungskästen sind aus Papiermasse oder aus Gusseisen mit patentirter Isolirauskleidung hergestellt; sie tragen, sowie die Dosen, einen Metallrand. Der aus Messing gegossene Deckel des Vertheilungskastens besitzt eine bajonettartige Verschlussvorrichtung. In neuester Zeit werden bei den Hausinstallationen die Bleisicherungen möglichst an einem Orte vereinigt, während sie früher über das ganze Gebäude vertheilt waren. Man schafft auf jedem Stockwerke Vertheilungscentren, durch welche die Haupt- und Steigleitungen hindurchlaufen; von diesen Centren führen die Nebenleitungen unmittelbar nach den einzelnen Beleuchtungskörpern. Die Vertheilungskästen enthalten Schalttafeln aus Porzellan, eisenfreiem Schiefer oder Marmor, Bleisicherungen, Ausschalter u. s. w. Die Schalttafeln und Vertheilungskästen sind durchwegs leicht zugänglich und feuersicher; es ist besonders darauf Rücksicht genommen, dass sie möglichst wenig Raum einnehmen. Sämmtliche Typen der Kästen sind für das Zwei- und Dreileitersystem eingerichtet. Zum Zwecke der Ausgleichung der Belastung im Dreileitersystem kann jeder Stromkreis auf die eine oder die andere Seite des Systemes geschaltet werden. Die Vertheilungskästen sind feuersicher, bestehen aus gut isolirendem Materiale, sind leicht zugänglich und nehmen wenig Raum ein. Die Vertheilungskästen für das Zwei- und das Dreileitersystem werden für die sämmtlichen Rohrgrößen angefertigt und zerfallen weiters in Vertheilungskästen für durchgehende und endigende Hauptleitungen.

4. Die Abzweigkästen, Fig. 229. Zur bequemen Herstellung von Zweigleitungen dienen die sogenannten Abzweigkästen mit Isolirauskleidung mit Porzellanbleischalter Fig. 229 für das Zwei- und Dreileitersystem.

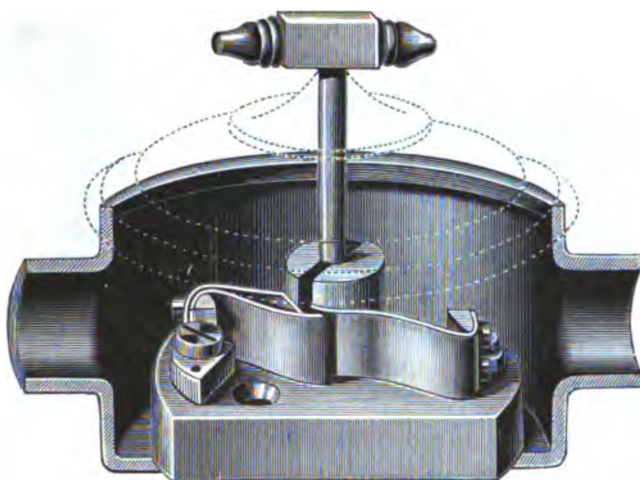


Fig. 226.



Fig. 227.

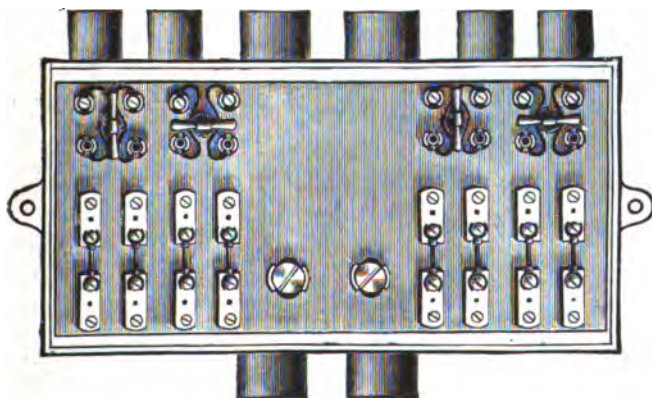


Fig. 228.

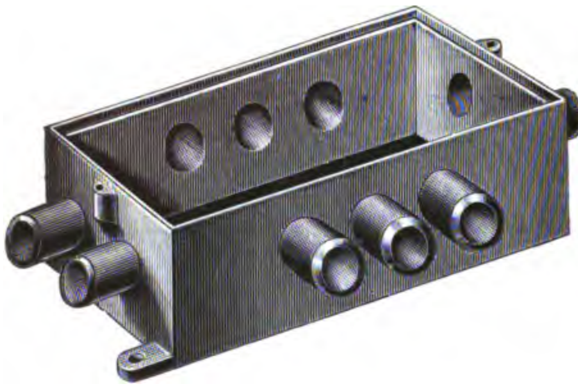




Fig. 229.

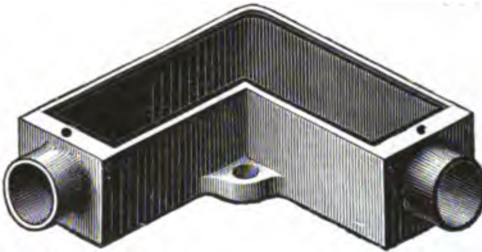


Fig. 230.

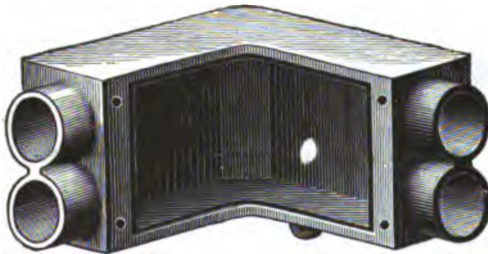
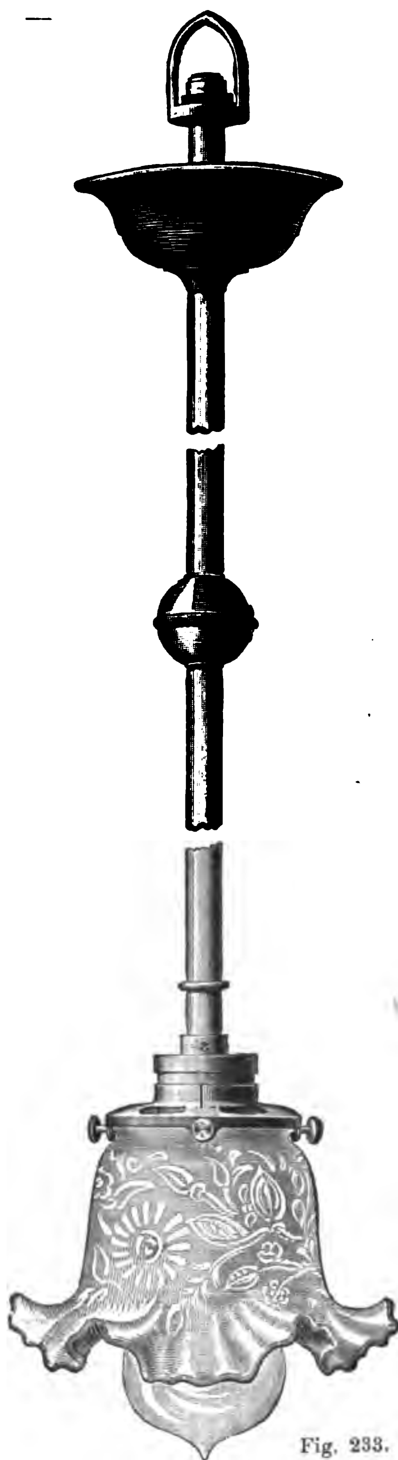


Fig. 231.

5. Die gusseisernen Winkelkästen, Fig. 230 und 231. Die Winkelkästen sind aus Eisen gegossen und mit einer Isolirauskleidung versehen. Starke Kabel für Röhren von 29 und 36 *mm* lichten Weiten lassen sich sehr schwer durch Ellbogen mit kurzen Halbmessern ziehen. Statt dieser Ellbogen empfehlen sich deshalb Winkelkästen. Dieselben sind in erster Linie für die offene Verlegung des Rohres mit Metallüberzug bestimmt, für welchen Zweck dieselben aus Messing gegossen werden; sie sollen da zur Verwendung kommen, wo es sich darum handelt, eine Leitung scharf um eine Ecke zu führen. Die Deckel bestehen aus demselben Metall wie die Kästen; letztere bleiben dauernd zugänglich. Für die gewöhnlichen Röhren lassen sich die Winkelkästen aus Gusseisen bei offener Verlegung oft mit Vortheil verwenden.


Fig. 232.


Fig. 233.

6. Die Pendel. In den Fig. 232 und 233 sind zwei verschiedene Ausführungen von Rohrpendeln abgebildet, welche bei hübscher Ausstattung allen Ansprüchen auf Billigkeit gerecht werden. Die einfachste Herstellung zeigt das in Fig. 232 dargestellte Pendel, welches der Monteur auf der Installation mit den einfachsten Mitteln aus dem Isolirrohr herstellt. Das in Fig. 233 veranschaulichte Pendel besteht aus polirtem Isolirrohr mit Messingüberzug; dasselbe schmücken ein Mittelknauf und eine polirte Baldachinschale. Die oberen und unteren Metalltheile werden bei der Herstellung der Pendel auf einer Spiritusflamme erwärmt und auf das Isolirrohr aufgeschoben. Zum Anschluss


Fig. 234.


Fig. 235.

der Fassung eignet sich ganz besonders der folgend beschriebene Zwillingsleiter.

7. Die Wandeinsätze aus Holz dienen zum Befestigen von Ausschaltern und Kontaktbüchsen mit Isoliranschluss, Fig. 234. Diese Mauereinsätze werden in die Wand eingeputzt und die Ausschalter oder Mauerdosen unmittelbar auf dieselben aufgeschraubt. Der Durchmesser der Wandeinsätze soll etwas kleiner sein, als derjenige der Ausschalter beziehungsweise Mauerdosen.

8. Die Wandkontakte in Abzweigdosen mit Stöpseln. Fig. 235. Aus dem Stöpsel, Fig. 236, ragt der Leitungsdraht hervor, welcher an den Stromnehmer anschließt.

9. Die Leitungsmaterialien. An die Stelle eines koncentrischen Zwillingsleiters, in welchen die beiden Leiter koncentrisch gegeneinander angeordnet waren, tritt in neuester Zeit ein Doppelleiter, der aus

zwei nebeneinander laufenden, mit Gummi isolirten, biegsamen Kupferlitzen besteht; letztere sind, sowie es Fig. 237 zeigt, durch eine gemeinsame Umklöppelung vereinigt. Die Verwendung dieses Doppelleiters ist fast in allen Elektricitätswerken zugelassen; derselbe gibt dem Instalateur ein brauchbares Mittel an die Hand, die Leitungen mit möglichst geringen Kosten herzustellen. Die Verlegung dieser Leiter in ein und dasselbe Rohr beschränkt sich jedoch auf die Abzweigungen zu den



Fig. 236.



Fig. 237.



Fig. 238.

einzelnen Stromnehmergruppen, während Hauptleitungen und überhaupt Drähte, welche höhere Stromstärken leiten, getrennt in je einem Rohre verlegt werden. Die Isolation dieses Zwillingsleiters ist vollständig frei von alkalischen Beimengungen.

II. Das Werkzeug.

1. Die Zange, Fig. 238, dient zur Herstellung von Verbindungen zwischen den Röhren. Die Messing- oder Stahlmuffe wird mittelst der Zange an vier Stellen gewürgt. Legt man die Backen der Zange an die Muffe an und presst die Backen, unter gleichzeitigem Drehen, an das Rohr, so entstehen je zwei Würgestellen, wie in Fig. 212 und 213.

2. Der Metallrohrabschneider, Fig. 239, stellt ein Schneidewerkzeug dar, welches zur Verbindung der Metallröhren Verwendung findet. Vermittelst dieses Werkzeuges werden die Enden der Metallröhren so durchschnitten, dass eine Verletzung der Isolirröhren ausgeschlossen erscheint. Dasselbe Werkzeug dient für alle Rohrgrößen. Durch eine in der Fig. 239 ersichtliche, an dem Abschneider ange-

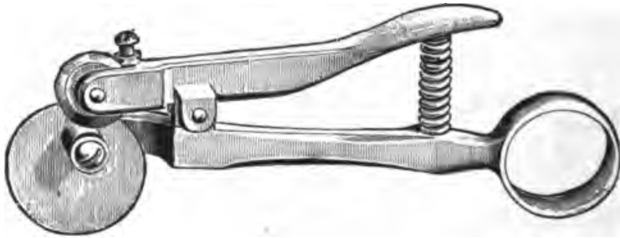


Fig. 239.



Fig. 240.



Fig. 241.

brachte Stellschraube wird das Schneiderädchen so eingestellt, dass nur der Metallmantel, nicht aber das Isolirrohr durchschnitten wird. Das Werkzeug ist so eingerichtet, dass, wenn man das Rohr auf den unter dem Rädchen befindlichen, cylindrischen Zapfen bis an die Führungsscheibe schiebt, etwa 15 *mm* des Metallmantels abgeschnitten werden.

3. Die Setzeisen, Fig. 240 und 241 dienen zum genauen Aufstecken der Muffen. Das in der Fig. 240 dargestellte Setzeisen findet

bei gewöhnlichen Isolirröhren, jenes in Fig. 241 wiedergegebene dagegen bei Isolirröhren mit Metallüberzügen Verwendung. Der Dorndurchmesser des Setzeisens ist dem Außendurchmesser des Rohres genau gleich. Man schiebt die Muffe zunächst auf das Setzeisen, so dass dasselbe bis in die Mitte der Muffe hineinragt, hält Muffe sammt Setzeisen z. B. in einem Schraubstock fest und schiebt das erste zu ververbindende Rohr, während man die Muffe erwärmt, bis an den Dorn des Setzeisens. Nachdem man das Setzeisen sodann aus der Muffe herausgezogen hat, schiebt man anstatt desselben, das zweite zu verbindende Rohr in die warm gehaltene Muffe und würgt dieselbe mit der Zange. Die zu verbindenden Röhren stoßen dann genau in der Mitte der Muffe gegeneinander.

4. Das Stahlband. Ein Stahlband von 20 *m* Länge trägt an dem einen Ende eine Kugel, an dem andern eine Oese. Das Stahlband dient zum Einziehen der Leitungen; zu diesem Zwecke schiebt man dasselbe, mit der Kugel voran, durch das Rohr und befestigt an die Oese desselben die Leitung und zieht dieselbe durch das Rohr.

5. Die Säge. Zum Abschneiden der Isolirröhren findet eine Säge Verwendung.

6. Die Schneidlade besteht aus einer prismatischen Holzrinne, welche an gerade oder schräge gegenüberliegenden Stellen der Seitenwand Schlitze enthält; letztere dienen als Führung für die Säge beim Abschneiden des in der Rinne befindlichen Rohres.

III. Die Verlegung.

Die Verlegung der Röhren führt man am besten so durch, dass man das zu installirende Gebäude an verschiedenen geeigneten Punkten mit unabhängigen Steigleitungen versieht; damit erreicht man möglichst kurze Abzweigungen und eine möglichst geringe Anzahl von Ellbögen. Bei Steig- und Hauptleitungen ist für jeden Draht ein besonderes Rohr zu verwenden. Alle Abzweigungen für Stromstärken bis zu 15 Ampère können durch Doppelleitungen mit beiden Polen in demselben Rohr ausgeführt werden; zu diesem Zwecke findet die besonders sorgfältig ausgeführte, äußerst biegsame Doppellitze, Fig. 237, Verwendung.

Die Röhren sind, um das bequeme Ein- und Ausziehen der Drähte zu ermöglichen, von genügender lichter Weite zu wählen.

Zur Befestigung der Röhren, bei der Verlegung unter Verputz, sind besonders hergestellte Eisendrahtbefestigungen, Fig. 219, zu wählen; dieselben können vermittelst flachköpfiger Drahtstiften unmittelbar an das Mauerwerk, in den meisten Fällen ohne in dasselbe eingegipste

Holzdübel, befestigt werden. Bei offener Verlegung sind vorzugsweise die für diesen Zweck bestimmten Rohrschellen aus verzinktem Eisen oder aus Messing, Fig. 217 und 218, zu verwenden, deren Befestigung durch Drahtstifte erfolgt.

Krampen sollen nur dort, wo sich die Verwendung von Rohrschellen oder Befestigungsdrähten als unzulässig erweisen, platzgreifen. Zum Einschlagen der Krampen dient das in Fig. 215 dargestellte Setzeisen. Bei der Verlegung unter Verputz empfiehlt es sich, wenn die Röhren an das Mauerwerk befestigt werden, dieselben von Stelle zu Stelle einzugipsen; dies ist insbesondere an solchen Stellen, wo die Röhren Kurven bilden, von ganz besonderem Werte, da hierdurch, beim späteren Einziehen der Drähte, ein Verschieben der Röhren vollständig ausgeschlossen erscheint.

Die Röhren sollen in möglichst großen Längen zur Verwendung kommen.

Die Rohrverbindungen sind mit größter Sorgfalt auszuführen; es ist besonders darauf zu achten, dass das Rohrende vermittelst einer kleinzähnigen Säge in einer Schneidelade rechtwinkelig abgeschnitten und der entstehende Grat mit einem scharfen Messer entfernt wird. Die Verbindung besorgt, bei den Röhren bis einschließlich 23 *mm* lichte Weite, eine Metallmuffe, in welche, nachdem dieselbe gelinde erwärmt wurde, beide Rohrenden derart eingeschoben werden, dass der Stoß möglichst genau in der Mitte stattfindet, worauf die Enden der Muffe vermittelst der zu diesem Zwecke bestimmten Zange, Fig. 238, gewürgt werden. Für jede Rohrgröße ist die dazu besonders vorgesehene Zange zu verwenden.

Zwei für die ersten fünf Rohrgrößen passende Setzeisen, Fig. 240 und Fig. 241, dienen zum Aufstecken der Muffen und sichern den Stoß der Röhren genau in der Mitte der Muffen.

Verlegt man Röhren in einem offenen Bau bei großer Kälte, so dass sie nicht sofort eingeputzt werden können, dann ist es rathsam, die Metallmuffen mit einer Lage Isolirband zu umwickeln und mit etwas Asphaltlack zu überstreichen, da die Metallmuffen unter der unmittelbaren Einwirkung großer Kälte, infolge ungleichen Zusammenziehens des Metalles und der Isolirmasse, reißen könnten.

Die Verbindung der Röhren von 29 und 36 *mm* Durchmesser geschieht durch Muffen aus Isolirmateriale. Behufs vollständiger Abdichtung ist es erforderlich, die Rohrenden und Muffen vor dem Zusammenstecken schwach zu erwärmen. Bei Muffen aus Isolirmasse kommen die Zangen nicht zur Verwendung; hier ist die vollständige Abdichtung durch Verwendung des Verbindungskittes zu sichern.

In chemischen Papierfabriken und Salzwerken, überhaupt an Orten, wo die Luft mit Säuregasen, Chlorgasen oder sonstigen auf Metalle zerstörend einwirkenden Stoffen vermischt ist, sind alle Metallmuffen gänzlich zu vermeiden; statt derselben sind Muffen aus Isolirmaterial zu verwenden.

Für sehr geringe Krümmungen können die Röhren, wenn man sie vorher gelinde an einer Flamme erwärmt, etwas gebogen werden, doch müssen sonst in allen Fällen bei Krümmungen und Richtungsänderungen die besonders vorgesehenen Ellbogen- und Kröpfungsstücke, sowie die geraden Röhren, durch Metallmuffen Anschluss finden.

Ein und dieselbe Leitung soll nicht aus mehr als vier Röhren bestehen. Bei unter Verputz verlegten Leitungen erleichtern Ellbögen mit größeren Halbmessern häufig das Einziehen der Leitungen. Sind jedoch mehr als vier Ellbögen in einer Leitung unvermeidlich, dann ist an geeigneter, annähernd halbwegs gelegener Stelle eine Zwischendose einzusetzen, von welcher aus die Drähte nach beiden Richtungen, so dass bei dem Einführen dieselben sowohl, als auch die Röhren möglichst geschont bleiben, gezogen werden können. Finden von eine Zweigleitung aus mehrere Unterabzweigungen statt, dann bringt man an den betreffenden Stellen Abzweigdosen an. Diese Dosen können auch gleichzeitig zum Anbringen von Deckenpendeln verwendet werden. An Zimmerdecken dienen die Abzweigdosen nur zur Befestigung von Deckenpendeln. In allen andern Fällen soll man das Einsetzen von Abzweigdosen an Zimmerdecken, als unschön, vermeiden. Eine Abzweigung an der Zimmerdecke lässt sich durch zwei aneinander stoßende Ellbögen bewirken; die Leitung tritt dann, unter Bildung einer kleinen Schleife, durch den einen Ellbogen aus der Decke heraus, während er durch den anderen weiter nach dem nächsten Stromnehmer geführt wird. Die Abzweigung bringt man dann außerhalb des Putzes an der Schleife an. Sollen Abzweigungen von der Hauptleitung unr mittelbar durch eine Mauer geführt werden, dann bedient man sich mit Vortheil einer Abzweigdose, an deren Boden ein Anschluss für eine Mauerdurchführung angebracht ist. Die Mauerdurchführung trägt für Doppelleiter einen Einfach-, für Einzeldrähte einen Doppelanschluss. Zur Ausführung solcher Abzweigungen eignet sich besonders die Abzweigscheibe Fig. 223.

Es ist darauf zu achten, dass die Röhren völlig in die Dosenanschlüsse, jedoch nicht in die Dosen hineinragen.

Sämmtliche Abzweigdosen eignen sich auch zur Aufnahme von kleineren Ausschaltern; solche sind in den Größen für 3 und 6 Ampère ein- und doppelpolig vorgesehen.

Größere Ausschalter, sowie solche anderer Systeme, sollen auf Wandeinsätzen, Fig. 234, aufmontirt werden.

Wandkontakte, Fig. 235, bringt man vorzugsweise in Dosen mit nur einem Dosenanschluss unter.

Die Röhren werden vermittelst eines besonders durch Wärme flüssig zu machenden Verbindungskittes an den Dosenanschlüssen abgedichtet; der Kitt muss die Anschlussstelle ringsherum umgeben. Die Erwärmung, des in Stangen geformten Kittes, kann schon durch eine Lampe oder Kerze erfolgen.

In den zur Verwendung kommenden Zwillingsleitern sind die beiden Leitungen nebeneinander angeordnet. Zur Herstellung eines Anschlusses in einer Abzweigdose, wird der ununterbrochen hindurchlaufende Draht etwas aus der Dose herausgezogen, und die äußere Umklöppelung mit einem scharfen Messer auf einer Strecke von 5 *cm* entfernt. Durch diesen Vorgang erscheinen die Gummiadern bloßgelegt. Jetzt biegt man die beiden Leiter auseinander und entfernt von jedem Leiter die Gummiisolation auf einer Strecke von 2 *cm*, umwindet und verlöthet die abzuzweigenden Drähte in der üblichen Weise und umwickelt dieselben mit Isolirband. Statt der eben beschriebenen Verlöthung, empfiehlt sich auch die Verwendung der in der Fig. 221 wiedergegebenen Porzellanabzweigscheibe; durch diese Scheibe wird das Löthen und Isoliren vermieden.

Bei Anlagen, in welchen die Röhren unter dem Verputz verlegt werden, sind die Enden der Zweigleitungen, gegen das Eindringen des Mörtels, besonders zu schützen. Die Dosen müssen, während des Putzens, durch Deckel abgeschlossen sein. Zu diesem Zwecke sind eigene, billige Eisendeckel bestimmt. Die Rohrenden haben mindestens 3 *cm* aus dem Putz herauszuragen.

Bei offener Verlegung sind die Rohrschellen in gerade verlaufenden Linien, in etwa 50 *cm* Entfernung von einander, anzubringen.

Wo Gasrohre oder sonstige Befestigungsvorrichtungen für Kronen oder Wandarme nicht vorhanden sind, ist eine besonders vorgesehene Enddose zu verwenden, welche in sorgfältiger Weise an das Holz- oder Mauerwerk der Decke oder Wand befestigt wird. Ein in diesen Dosen angebrachtes Gussstück, Fig. 227, dient zur Befestigung des Beleuchtungskörpers.

Vertheilungskästen mit Bleischalter sind an allen Steigleitungen, behufs Ausführung der Abzweigungen in den verschiedenen Stockwerken, einzusetzen. Die Körper der Bleischalter und Schalttafeln müssen aus Porzellan oder Schiefer gefertigt, und die Bleisicherungen mit Kupferenden versehen sein.

Hat man für die Röhren, während des Baues, besondere mechanische Beschädigungen zu befürchten, dann muss man in geeigneter Weise eine zeitweise und nöthigenfalls eine dauernde Schutzvorrichtung anbringen.

Das Verlegen der Röhren in Cement ist möglichst zu vermeiden; erscheint jedoch diese Verlegungsart unerlässlich, dann sind mit Metallüberzug geschützte Röhren zu verwenden.

Verlegt man die Hauptleitungen in getrennten Röhren, so genügen anstatt der kostspieligen, mit Gummi isolirten Drähte, solche mit einer doppelten Umklöppelung versehene Drähte. Für Zweigleitungen empfiehlt es sich die besonders hierfür bestimmten Zwillingsdrähte zu verwenden. Wenn gewöhnliche, nicht gelitzte Drähte zur Verwendung kommen, wird das Einziehen der Leitungen erheblich erschwert; dann erweist es sich als vortheilhaft, an den Ecken eine Winkeldose einzusetzen.

Löthstellen in den Röhren sind unzulässig.

Sobald eine Rohrleitung gelegt ist, muss das mit einer Kugel versehene Stahlband, zur Beseitigung etwa vorhandener Hindernisse, durch dieselbe geschoben werden.

Es empfiehlt sich, jedesmal, nachdem ein neues Rohrstück, ein Ellbogen oder Kröpfungsstück an die Leitung angeschlossen wurde, ein zu diesem Zwecke eigens angefertigtes, 4 *m* langes Stahlband mit großer Kugel über die neue Verbindungsstelle hinwegzuschieben; so bleibt der Rohrweg stets frei von Hindernissen. Sobald die Rohrleitungen fertiggestellt sind, bläst man vor dem Einschieben des Stahlbandes, in jedes Rohr gepulverten Speckstein ein, so dass derselbe das Innere des des Rohres, auf dessen ganzen Länge, mit einer dünnen Schicht bedeckt; hierauf wird, behufs Einführung des Drahtes, das Stahlband in das Rohr eingeschoben und mittelst desselben der Draht nachgezogen.

Alle Abzweig- und Zwischendosen sind durch Anbringung eines hierzu vorgesehenen Deckels zu schließen.

Die Verbindungen der mit Metall überzogenen Rohre, Fig. 242 und 243, erfordern ganz besondere Sorgfalt. Vorerst wird mit Hilfe des Metallrohrabschneiders der Metallmantel von den zu verbindenden Enden auf einer Strecke von etwa 15 *mm* entfernt. Sodann streicht man auf die zu verbindenden Rohre ungefähr 5 *mm* von den Enden etwas geschmolzenen Verbindungskitt und führt die beiden Rohrenden so in die Muffe ein, dass die Stoßfuge möglichst genau in die Mitte derselben fällt. Die letztere Stellung zwischen Stoß und Muffe erreicht man durch die Verwendung des besonderen Muffensetzeisens, Fig. 241.



Fig. 242.

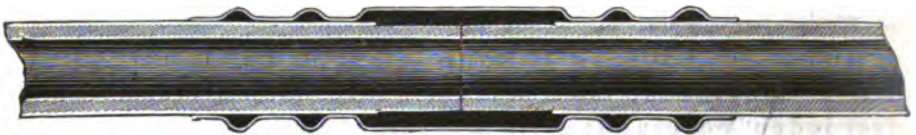


Fig. 243.

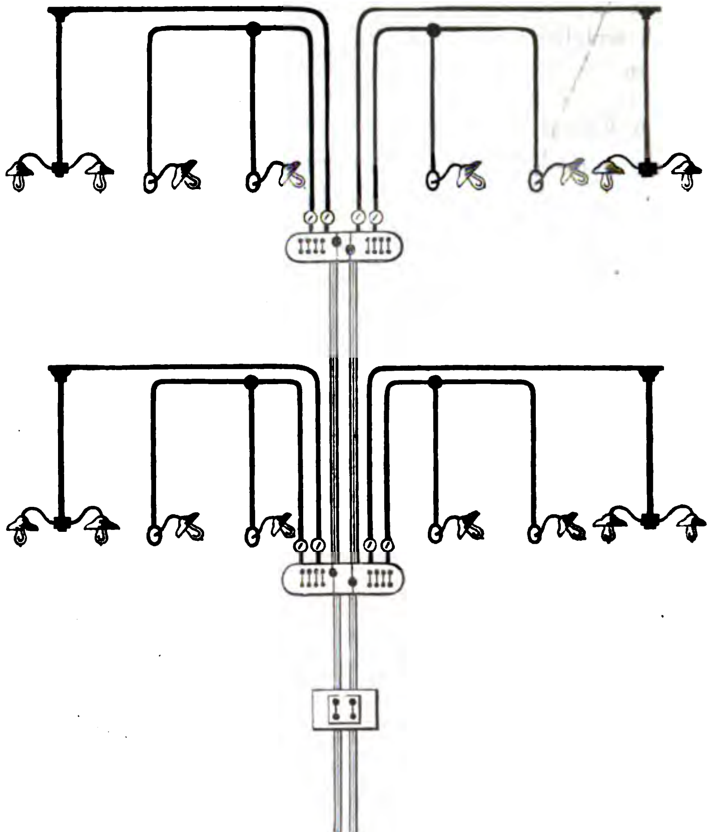


Fig. 244.

Die Muffe wird erst dann erwärmt, wenn die beiden Rohrenden in dieselbe eingeführt sind. Erwärmt man die Verbindungsstelle durch eine Spiritusflamme, so schmilzt der in den Rillen der Muffe befindliche Kitt und dichtet die Verbindung ab. An den Enden der Muffe etwa hervorquellender Kitt muss sorgfältigst entfernt werden. Der Kitt erkaltet in etwa 2 Minuten. Die Verwendung der Zange zur Herstellung dieser Verbindung ist ausgeschlossen.

Der Anschluss der Röhren an die Dosen findet genau in derselben Weise statt.

Der Verbindungskitt kann leicht in das Innere der Röhren eindringen; man muss deshalb nach Herstellung einer jeden Verbindung ein kurzes Stahlband durch die Verbindungsstelle schieben.

Fig. 244 veranschaulicht ein Installationsschema. In den Steigleitungen sind in den einzelnen Stockwerken Vertheilungskästen angebracht, von welchen aus die Leitungen direkt zu den Beleuchtungskörpern führen.

IV. Die Vortheile.

1. Hohe und haltbare Isolation. Die Röhren bleiben im Putz unverändert und besitzen eine hohe mechanische Festigkeit. Die Isolirröhren von 2·5 *mm* Wandstärke widerstanden, bei wiederholt angestellten Versuchen, einer Spannung bis zu 19000 Volt. Ein in die Röhren verlegter, blanker Kupferdraht zeigte einen Isolationswiderstand von 170 Megohm für 1 *km*.

2. Schutz der Leitungen gegen Feuchtigkeit. Die zur Imprägnirung der Röhren verwendete Isolirmasse löst sich weder im Wasser noch in Säuren auf. Die in den Röhren verlegten Leitungen sind daher, selbst in einer säurehaltigen Atmosphäre, dauernd gegen das Eindringen von Feuchtigkeit und gegen chemische Zersetzungen geschützt; sie eignen sich deshalb für chemische Fabriken, Färbereien und in Sammlerräumen. Für letztere Zwecke werden die Abzweigdosen mit einem elastischen Gummiabschluss versehen, und die Fassungen und Lampensockel gegen die Einwirkung der Säuredämpfe durch Gummihülsen geschützt. Die einzelnen Rohrlängen schließt man gewöhnlich, durch eine Muffe aus gezogenem Metall, aneinander; eine solche Verbindung widerstand einem Wasserdrucke von 3 Atmosphären ohne Undichtheiten zu zeigen. In säurehältigen Räumen tritt an die Stelle der aus Metall gefertigten Muffe eine solche aus Isolirmaterial.

3. Sicherheit gegen elektrische Entzündung. Dadurch, dass die Leitungen auf ihrer ganzen Länge von Röhren eingeschlossen

sind, wird der Luftzutritt zu denselben fast vollständig abgeschnitten. Im Innern der Röhren kann daher keine Flamme entstehen. Ein Draht von 1 *mm* Durchmesser, versuchsweise zum Theile durch ein Stück Holzleiste, ein Stück Hartgummirohr und ein Stück Isolirrohr geführt, wurde durch einen Strom von 40 Ampère zur Rothglut gebracht. Nach einigen Sekunden platzte das Hartgummirohr und ging in Flammen auf; hierauf entzündete sich die Holzleiste, während das Isolirrohr nicht beschädigt wurde, bis schließlich der Draht abschmolz.

4. Raumersparnis beim Verlegen. Die Verlegung der Isolirröhren unter Putz erfordert weniger Raum, als irgend eine andere Verlegungsweise; das übliche Einstemmen kann in vielen Fällen vollständig vermieden werden. Bei anderen Verlegungssystemen wurde häufig eine biegsame Leitungsschnur als Zuleitung zu den Beleuchtungskörpern benutzt; von einigen Elektricitätswerken ist diese Leitungsschnur untersagt und durch unter Putz verlegte Isolirröhren ersetzt worden.

5. Die unter Verputz verlegten Leitungen bleiben dauernd zugänglich. Die Leitungen und Röhren dieses Systemes kommen nicht gleichzeitig zur Verlegung, sondern es werden die Leitungen erst nach Fertigstellung des Baues eingezogen. Man kann deshalb durch diese Verlegungsart, für späterhin zu benützende elektrische Anlagen, mit geringem Kostenaufwande vorbereiten. Die Leitungen können dann bei eintretendem Bedarfsfalle eingezogen werden, ohne die Wände und Decken, sowie deren Ausstattung, zu beschädigen; ebenso können bereits eingezogene Drähte behufs Prüfung, Auswechselung oder Vergrößerungen ihrer Querschnitte jederzeit aus den Röhren, ohne Beschädigung der Wände oder Decken, herausgenommen werden.

6. Vortheile der Isolirröhren mit Metallüberzügen. Diese Röhren schützen die Leitung gegen mechanische Beschädigungen und gegen die scharfe, in Cement enthaltene Aetzlauge. Sie eignen sich besonders zum Verlegen in Cementfußböden und sonstiges Cementmauerwerk. Alles bei dieser Installation erforderliche Zugehör, wie Ellbögen, Kröpfungsstücke und Abzweigdosen sind gleichfalls mit Metallüberzügen versehen. Für offene Verlegung werden diese Röhren sammt Zugehör polirt und gefirnißt, so dass sich dieselben in elegant eingerichteten Räumen verwenden lassen. Das mit Messing überzogene polirte Rohr eignet sich insbesondere für elektrische Schiffseinrichtungen. In Bergwerken, in welchen die Leitungen dauernd der Einwirkung der Nässe ausgesetzt sind, bieten die mit Messing überzogenen Röhren, in Verbindung mit den bereits erwähnten Gummiabdichtungen für Abzweigdosen und Lampenfassungen, einen vollkommen ausreichenden

Schutz. Durch den Metallüberzug werden die Röhren auch von außen her unentzündlich und erscheinen deshalb auch insbesondere für Bühnenzwecke sehr geeignet.

Ueber das Verhalten der Papierröhren, wenn in denselben Leitungen überhitzt werden, geben einige vergleichende Versuche Aufschluss, welche am 20. December 1890 in der Edison-Centrale in Chicago angestellt wurden. F. Uppenborn[1]) berichtet über diese Versuche folgend:

1. Durch ein Rohr von 11 *mm* Durchmesser verlief das negative und positive Ende eines Stromkreises. Der Draht (Nr. 18 der B. W. G.) war mit in Paraffin getränkter Baumwolle isolirt. Es wurde ein Strom von 97 Ampère durch die Drähte hindurchgeschickt; in 30 Sekunden waren dieselben rothglühend und rauchten. Die Rohrleitung war die gewöhnliche; dieselbe wurde nicht verbrannt.

2. Zwei Drähte (Nr. 18 der B. W. G.) waren mit in Paraffin getränkter Baumwolle isolirt; ein Pol ging durch eine Rohrleitung, der andere durch eine Holzleiste. Nachdem ein Strom von 97 Ampère eine Minute hindurchging, fing die Holzleiste stark zu rauchen an und ging nach 5 Minuten in Flammen auf. Die Rohrleitung war an den Enden weich geworden, fing aber nicht zu brennen an.

3. Versuch 2 wurde unter Anwendung von geflochtenem, mit Gummi isolirtem Draht, mit dem nämlichen Ergebnis, nur dass die Holzleiste erst nach Verlauf von 7 Minuten brannte, wiederholt.

4. Ein mit Gummi isolirter Draht in einer feuersicheren Rohrleitung; die Rückleitung war in eine Holzleiste gelegt. Es wurde der Draht stark überlastet, sodass seine Isolation durchbrannte und derselbe in 10 Sekunden schmolz. Die Rohrleitung erlitt keinen Schaden, wogegen das Holz, auf welches die Rückleitung gelegt war, Feuer fing.

5. Zwei Drähte wurden auf einem Brett, 60 *mm* von einander entfernt, in einem Punkte, wo die Drähte blank lagen, befestigt; das Holz war mit einer Lösung kaustischer Soda angefeuchtet. Als der Strom eingeschaltet wurde, bildete sich ein Kurzschluss an der angefeuchteten Stelle und nach einiger Zeit entzündete sich das Holz, während der Kurzschluss die Bleisicherungen nicht zu durchschmelzen vermochte.

6. Zwei Drähte, 1·5 *mm* voneinander entfernt, auf eine angefeuchtete Stelle gelegt. Sobald der Strom die Drähte durchfloss, bildete sich ein kleiner Lichtbogen über den angefeuchteten Fleck hinweg,

---

[1]) F. Uppenborn, Elektrotechnische Zeitschrift, 1891, Heft 17.

aber beide Bleisicherungen schmolzen augenblicklich durch und das Holz entzündete sich nicht.

V. Kostenanschläge.

Selbst die sorgfältigst ausgearbeiteten Pläne gestatten keine genaue Bestimmung des gesammten erforderlichen Materiales in allen Einzelheiten. Nachstehend folgen einige Erfahrungsangaben für die verschiedenen zur Anwendung kommenden Materialien des Rohrsystemes; wenngleich diese Zahlen der Praxis entnommen sind, müssen dieselben doch, von Fall zu Fall, den örtlichen Verhältnissen entsprechend, abgeändert werden.

Röhren. Das erforderliche Rohrquantum lässt sich annähernd genau aus den Plänen ermitteln; es empfiehlt sich $^3/_4$ desselben mit Muffen und $^1/_4$ ohne Muffen einzusetzen.

Ellbögen. Bei kleineren Räumen darf auf je 3 *m* Rohr ein Ellbogen angenommen werden. Bei größeren Räumen genügt ein Ellbogen auf je 4 *m* Rohr. Sind für die Kronen größere Gipsrosetten vorgesehen, dann setzt man für jede Krone einen Ellbogen mit verlängertem Schenkel ein. Bei Verlegung der Röhren unter Putz, lassen sich mit Vortheil Ellbögen mit größerem Halbmesser anwenden; dann sind $^1/_8$ der erforderlichen Ellbögen einzusetzen.

Kröpfungsstücke. Auf je 10 *m* Rohr ist ein Kröpfungsstück zu veranschlagen.

Abzweigdosen und Abzweigscheiben lassen sich annähernd genau aus den Plänen feststellen. Sollen die Ausschalter in Dosen eingesetzt werden, dann kommt für jeden Einpoligen Ausschalter eine Dose Nr. 1 und für jeden doppelpoligen Ausschalter eine Dose Nr. 9 in Anschlag.

Befestigungsmateriale. Für jeden Meter Rohr sind zwei Befestigungen, entweder Befestigungsdrähte mit Nägeln oder Rohrschellen oder Messingbänder einzusetzen.

Leitungsmateriale. Bei Verwendung von Zwillingsleitern sowohl, als auch bei Einzelleitern in getrennten Röhren, ergibt sich die erforderliche Gesammtmeterzahl der Leitungen aus dem festgestellten Rohrquantum, wenn man wenigstens 5 % zuschlägt.

Muffen. Außer den bereits an den Röhren und Ellbögen angebrachten Verbindungsmuffen ist weiters, für je 6 *m* Rohr, eine Verbindungsmuffe besonders vorzusehen.

Verschiedenes. Für eine Anlage von etwa 200 Glühlampen reichen $^1/_2$ *kg* Verbindungskitt und 1 *kg* Specksteinpulver vollkommen aus.

VI. Kosten.

Die Einrichtungskosten des Rohrsystemes kommen in der Regel nicht höher zu stehen, als gut ausgeführte Verlegungen in Holzleisten oder auf Porzellanrollen; die Kosten der Röhren werden durch die Ersparnis an Leitungsmateriale und Arbeitszeit gedeckt. Für die gesammte Montage einer Hausinstallation, sammt Einziehen der Leitungen und Anbringen der Stromvertheilungskästen und Schaltbretter, können für 1 Monteur und 1 Arbeitsstunde 3·3 *m* Rohr in Ansatz gebracht werden. Es würde demnach eine Installation, in welcher 500 *m* Röhren zur Verwendung gelangen, 152 Arbeitsstunden in Anspruch nehmen, vorausgesetzt, dass die örtlichen Verhältnisse ein ununterbrochenes Arbeiten gestatten.

Es ist darauf zu achten, dass der Durchmesser der Röhren nicht zu knapp bemessen erscheint. Das 7 *mm* Rohr ist in erster Linie für Haustelegraphen und Telephone bestimmt; wenn dasselbe bei Lichtanlagen Verwendung findet, sollen Draht und Rohr gleichzeitig zur Verlegung kommen, weil dann das Stahlband, des geringen Durchmessers halber, zum nachträglichen Einziehen nicht immer verwendbar ist. Das 9 *mm* Rohr kann für Zwillingsleiter bis 1·5 mm^2, sowie für Kupferlitzen bis zu 2·5 mm^2 Querschnitt verwendet werden. Das 11 *mm* Rohr eignet sich für Zwillingsleiter bis zu 4 mm^2 und für Kupferlitzen bis zu 8 mm^2 Querschnitt. Das 17 *mm* Rohr findet bis zu 6 mm^2 Querschnitt Anwendung; in dasselbe lässt sich noch bequem eine Kupferlitze von 16 mm^2 Querschnitt einziehen.

Es soll als allgemeine Regel gelten, dass bei einer Rohrleitung, in welcher Ellbögen in Anwendung kommen, die lichte Weite mindestens zweimal so groß sein muss, als der äußere Durchmesser des einzuziehenden Drahtes.

128. Verlegung an Isolirglocken. Diese Verlegungsart wird besonders in sehr feuchten Räumen, in welchen man die Leitungen an Wänden und Decken führt, angewendet. Die Glockenisolatoren werden vermittelst eiserner Stützen in die Mauer eingegipst. Die zumeist blanken Leitungen streicht man häufig, zum Schutze gegen chemische Zersetzungen, mit Oelfarbe oder Mennige an.

III. Unterirdische Leitungen.

129. Eintheilung. Die unterirdischen Leitungen können zweckentsprechend in 3 Systeme eingereiht werden:

1. Tunnelanlagen.
2. Einziehsysteme.
3. Festgelegte Leitungen.

130. Tunnelanlagen finden ihrer Kostspieligkeit halber hauptsächlich nur für Hauptleitungen Verwendung, da dieselben einen geräumigen, unterirdischen Kanal beanspruchen. Solche Leitungen sind in Paris neben Gas- und Wasserleitungsröhren u. s. w. in sehr geräumigen Kanälen untergebracht.

131. Einziehsysteme. Das Einziehen der Leitungen in Röhren verschiedenen Materiales ist in New-York, Philadelphia u. s. w. ausgeführt worden. Da der Boden in der erstgenannten Stadt sehr salzhaltig ist, wurden Kanalkörper aus Asphalt und Sand hergestellt, weil Eisen und Holz von Salzen zerstört werden. Untersuchungsbrunnen (Mannlöcher) dienen zum Einziehen der Leitung, zur Kontrolle derselben und zur Herstellung der Anschlüsse. Die Kanäle werden weiters aus gewelltem Bleche, Thon, irdenen Röhren, Eisenröhren (mit Oel gefüllt) u. s. w. zusammengesetzt.

132. Festgelegte Leitungen. Diese unterirdischen Leitungen werden entweder direkt oder in getheerten Holzrinnen, etwa 0·6 *m* tief, in die Erde vergraben und erhalten, außer der gewöhnlichen Isolation, Blei- (Bleikabel) und Eisenmäntel (Panzerkabel). Die wichtigsten Arbeiten der Kabelfabrikation sind:

1. Bespinnung des Leiters mit Jute- und Baumwollfaser.
2. Vollständige, bei Luftleere erzielte Trocknung der Bespinnung.
3. Tränkung der Bespinnung mit einer besonderen Isolirmasse.
4. Umpressung der erzeugten Isolirschicht mit einem vollkommen wasserdichten Bleimantel auf kaltem Wege.

Als Schutz der Bleihülle gegen chemische Einflüsse verwendet man eine neue Asphaltmasse, gegen mechanische Verletzungen Bandeisen.

Die koncentrisch angeordneten Theile dieser Kabel sind:

1. Der Kupferleiter.
2. Die Isolationsschicht.
3. Der Bleimantel.
4. Die äußere Schutzhülle.

133. Der Kupferleiter ist entweder massiv oder litzenförmig, je nachdem derselbe aus einem einzelnen Drahte oder aus mehreren Drähten besteht, welche letztere für starke Querschnitte Verwendung finden. In der äußeren Drahtlage des Bleikabels befindet sich häufig ein sogenannter Mess- oder Prüfdraht, d. i. ein Kupferdraht von 1 bis 1·5 *mm* Durchmesser, der mit Jute- (mit weitmaschiger Klöppelung) oder Baumwollgarn besponnen ist. Der Messdraht hat den Zweck:

1. Die Spannung an den Vertheilungspunkten des Leitungssystemes zu kontrolliren, indem man den Messdraht einerseits an die zu untersuchende Stelle der Leitung, andererseits an das Galvanometer anschließt.

2. Den Isolationszustand des Kabels, ohne Unterbrechung der Leitungen, zu prüfen. Hauptleitung und Prüfdraht zeigen gleichzeitig

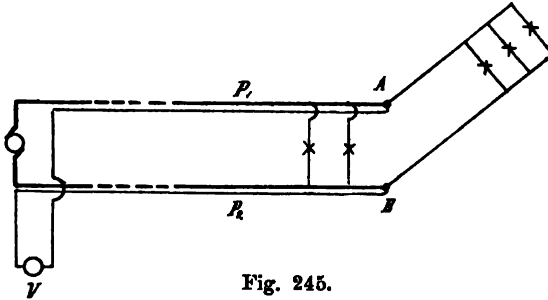


Fig. 245.

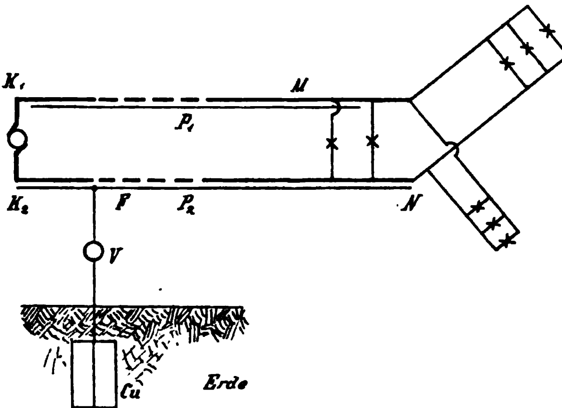


Fig. 246.

an irgend einem Punkte Schluss an, da beide stets gleichzeitig bloßgelegt erscheinen.

134. Messung der Isolation. Fig. 245 veranschaulicht die Spannungskontrolle mittelst des Prüfdrahtes. Soll die Spannung an irgend welchen Punkten des Leitungssystemes A und B, Fig. 245, kontrollirt werden, so schließt man die Prüfdrähte P_1 und P_2 an diesen Punkten A und B metallisch an die Leitung. Der Voltmesser V macht dann die Spannung zwischen den Punkten A und B ersichtlich. Fig. 246 zeigt, wie man mit Hilfe der Prüfdrähte, auf ganz einfache

Art, die Isolation der einzelnen Theile des Leitungssystemes, ohne Anwendung besonderer Messmethoden und ohne Unterbrechung der Leitung (ohne Störung des Betriebes), prüfen kann. Die Kupferseele und der in der äußersten Lage befindliche Prüfdraht zeigen gleichzeitig Schluss, weil sie gleichzeitig fehlerhaft werden. Will man deshalb z. B. das Stück K_2 N der Leitung auf Erdschluss untersuchen, so verbindet man den Prüfdraht P_2 auf dieser Strecke, z. B. am Orte F, durch ein Galvanometer V (z. B. ein Voltmesser) mit der Erdplatte *Cu*. Im stromdurchflossenen Zustande kann man den Schluss in Volt an V ablesen. Die Leitung hat einen vollkommenen Erdschluss, wenn die Spannung an dem Voltmesser V der normalen Betriebsspannung gleich ist. Im stromlosen Zustande kann man zwischen den Punkten F und *Cu* eine Widerstandsmessung vornehmen und dadurch den Isolationswiderstand der Leitung K_2 N gegen die Erde messen. Der Isolationswiderstand der Kabel beträgt etwa 1000 Millionen Ohm für 1 *km*.

135. Mehrfache Kabel.

Anstatt zwei oder mehrere Kabel mit je einer Kupferseele nebeneinander zu legen, verwendet man sehr häufig Kabel mit zwei oder mehreren von einander isolirten Kupferleitern. Diese Kabel werden koncentrische Kabel genannt, weil die einzelnen Leiter gleichmäßig um die Mittellinie des Kabels vertheilt sind. Die mehrfachen Kabel werden mit und ohne Prüfdrähten angefertigt und stellen sich billiger, als mehrere einzelne. Doppelkabel sind insbesondere für Wechselströme zweckentsprechend, weil durch die koncentrische Anordnung der Kupferleiter die Induktionswirkung des Wechselstromes aufgehoben wird. Bei den dreifachen Kabeln (Dreileiter-Kabel) sind die Kupferquerschnitte der einzelnen Leiter entweder gleich oder sie verhalten sich wie $1 : 1 : {}^1/_2$.

136. Eintheilung der Kabel.

1. Hauptkabel.
2. Vertheilungskabel.
3. Anschlusskabel.

Die Hauptkabel leiten den Strom von den Schienen des Schaltbrettes bis zu den Vertheilungspunkten des Leitungsnetzes. Die Vertheilungskabel dienen zur Fortführung des Stromes von den Vertheilungspunkten aus. Die Anschlusskabel besorgen den Anschluss kleinerer Lampenpartien an die Vertheilungskabel.

137. Kabelverbindungen, Abzweigungen, Vertheilungen und Anschlüsse. Zur gegenseitigen Verbindung von Kabelstücken, zu Abzweigungen von starken auf schwache Kabel, zu Vertheilungen und zu Anschlüssen verwendet man folgende sogenannte Garniturtheile:

1. Gerade Muffen (— Muffen).
2. Abzweigungsmuffen (⊥ „).
3. Kreuzmuffen (+ „).
4. Abzweigungskasten.
5. Vertheilungskasten.
6. Endverschlüsse.

An den Enden der Kabel erhält die Feuchtigkeit zu den Isolirschichten freien Zutritt. Zur Verhinderung der dadurch möglichen Isolationsfehler sind die Kabel vor und während des Verlegens an den Enden wohl zu isoliren, d. h. mit Endverschlüssen zu versehen.

IV. Unterseeische (submarine) Leitungen.

138. Unterseeische Kabel. Für unterseeische Leitungen verwendet man Eisenpanzer-Kabel, welche auf dem Eisenpanzer doppelt mit Gummi isolirt sind und eine doppelte Drahtwickelung (verzinnter Eisendraht) enthalten, die man nochmals mit einer stark getheerten oder asphaltirten, gesandelten Juteschicht umgibt. Die submarinen Kabel werden als Lichtleitungen hauptsächlich nur zu Leuchtthurm-Beleuchtungen verwendet.

V. Die Patent-Bleikabel von Siemens & Halske[1]).

139. Die Fabrikation der Patent-Bleikabel.

Die Patent-Bleikabel von Siemens & Halske wurden zuerst im Jahre 1881, nachdem durch eingehende Versuche die Richtigkeit des, dem neuen Verfahren zu Grunde liegenden, Prinzipes erwiesen worden war, fabrikationsmäßig hergestellt. Schon längere Zeit vorher wurden von dieser Firma ein- und mehradrige Guttaperchakabel (wie solche noch heute im großen Umfange von der kaiserlichen deutschen Telegraphen-Verwaltung verwendet werden) mit Bleimänteln versehen; hierbei war jedoch das angewendete Verfahren, welches darin bestand, dass die mit Jute besponnenen, beziehungsweise verseilten Guttapercha-Adern (Kabelseelen) durch vorher gepresste Bleirohre gezogen und diese den Seelen durch Walzen angepresst wurden, noch mit Mängeln behaftet und zu kostspielig. Ursprünglich wurde dasselbe auch zur Herstellung der Patent-Bleikabel in Anwendung gebracht, bis im Jahre 1881 die erste, zur Anfertigung dieser Kabelgattung eigenartig konstruirte Bleipresse mit den erforderlichen, das Verfahren als neu charakterisirenden Nebenapparaten in den Fabriksräumen in Berlin aufgestellt wurde.

[1]) Nach einer Drucksorte dieser Firma.

Das von der Firma Siemens & Halske zur Herstellung ihrer Patent-Bleikabel angewendete Verfahren besteht erstens in der Bespinnung des Leiters mit Jute oder Baumwollfaser von wechselnder Stärke, zweitens in der absoluten, unter Anwendung der Luftleere erzielten Trocknung der Bespinnung, drittens in der Tränkung der letzteren mit einer besonderen Isolirmasse, und endlich viertens in der auf kaltem Wege ausgeführten Umpressung der so erzeugten Isolirschicht mit einem vollkommen wasserdichten Bleimantel.

Schon nach kurzer Zeit genügte die ursprüngliche Fabrikanlage nicht mehr, um den gestellten Anforderungen nachzukommen. Im Jahre 1884 wurde deshalb das Kabelwerk nach Charlottenburg verlegt, um hier die Bleikabelfabrik durch Aufstellung einer zweiten, größeren Bleipresse und durch wesentliche Vermehrung vervollkommneter Trocken- und Tränkapparate erweitern zu können. Indessen auch diese Mittel waren bald nicht mehr ausreichend, so dass noch die Aufstellung von zwei Bleipressen sich als nöthig erwies.

Die Siemens & Halske'schen Patent-Bleikabel haben sich in allen Konsumländern rasch eingebürgert, so dass jetzt in London, Berlin, Wien, St. Petersburg Bleikabel, System Siemens & Halske, in eigenen Fabriken erzeugt werden.

Mit der Vermehrung der Fabrikationsmittel hat die Vervollkommnung der Darstellungsweise Schritt gehalten. Die Verbesserungen bestehen sowohl in der Erhöhung des elektrischen Wertes der Patent-Bleikabel, als auch in der Anwendung von vollkommeneren Schutzhüllen für den Bleimantel, wie endlich in der erheblichen Vergrößerung des Querschnittes der verwendeten Kupferleiter. Anfänglich war der größte zu umpressende Kupferquerschnitt 117 mm^2, heute ist die obige Firma im Stande, einen solchen von 1000 mm^2 zu verwenden, und dadurch in der Lage, den stark gesteigerten Ansprüchen zu genügen, welche durch die Centralstationen an die Kabelfabrikation gestellt werden.

Das zur Zeit der Einführung der Patent-Bleikabel hie und da geäußerte Bedenken, betreffend die Ausdauer des Bleies gegen die Einwirkung der chemischen Agentien im Erdboden, hat sich durch Dauerversuche als völlig unbegründet erwiesen. Es stellte sich heraus, dass schon die anfänglich angewendete Asphaltirung ein ausreichender Schutz der Bleihülle gegen derartige Einflüsse bildete; durch die seit einiger Zeit von der Firma Siemens & Halske angewendete neue Asphaltmasse ist die Sicherheit noch vermehrt und die Gefahr der mechanischen Verletzung des Bleimantels, durch Verwendung des Bandeisens an Stelle des Eisendrahtes zur Armatur, auf das denkbar geringste Maß zurückgeführt worden.

Als Bestandtheile der Patent-Bleikabel sind zu nennen:

1. Der Kupferleiter.
2. Die Isolationsschicht.
3. Der Bleimantel.
4. Die äußere Schutzhülle.

Die Kupferleiter werden entweder aus einem einzelnen Drahte als massive Leiter, oder aus mehreren Drähten als litzenförmige Leiter hergestellt. Zu den Querschnitten bis 25 *mm*² finden in der Regel massive Leiter, zu den stärkeren bis zu 1000 *mm*² gehenden Querschnitten jedoch ausnahmslos litzenförmige Leiter Verwendung. Auf Wunsch des Bestellers und sonst nöthigenfalls werden auch zu den Querschnitten unter 25 *mm*² litzenförmige Leiter zu den Patent-Bleikabeln in Anwendung gebracht.

Die Patent-Bleikabel von Siemens & Halske mit Kupferleitern über 50 *mm*² führen in der äußeren Drahtlage des Leiters einen isolirten Mess- oder Prüfdraht. Diese von der Firma eingeführte Vorrichtung hat hauptsächlich den Zweck, die Spannungen an den Stellen, an welchen sich die Vertheilungsleitungen an die Hauptleitungen anschließen, zu kontrolliren und den Isolationszustand der Kabel zu prüfen.

Sämmtliche zur Anfertigung der Kupferleiter verwendeten Kupferdrähte werden aus nahezu chemisch reinem Kupfer hergestellt und vor ihrer Verwendung einer sorgfältigen Prüfung auf Leitungsfähigkeit, Form, Gewicht u. s. w. unterzogen, so dass die Firma die Garantie für die Innehaltung des, dem betreffenden Querschnitte entsprechenden, Leitungswiderstandes, innerhalb der statthaften Grenzen von 5%, annimmt. Zur Bezeichnung der Patent-Bleikabel dienen die den Querschnitt des Kupferleiters angebenden Zahlen, denen, je nach der Gattung der Kabel, gewisse Zeichen vorgesetzt werden. Da die Firma für 1 *mm*² Kupferquerschnitt und 1000 *m* Länge einen Leitungswiderstand von 16·5 Ohm bei 0° C garantirt, so ist es leicht, aus der Fabriksnummer der Patent-Bleikabel den Leitungswiderstand derselben abzuleiten. Bei den Patent-Blei-Doppelkabeln, welche mit den die Summe der Querschnitte beider Leiter ausdrückenden Zahlen bezeichnet werden, ist hiernach der sich aus dieser Zahl ergebende Leitungswiderstand mit 2 zu multiplizieren, um denjenigen der einzelnen Leitung zu finden. Von der Ansicht ausgehend, dass für die meisten Fälle eine gewisse Abstufung von Querschnitten ausreichend ist, hat die Firma unter dem Namen Normalquerschnitte zwei Reihen zusammengestellt, die sie der Fabrikation ihrer Patent-Bleikabel und sonstigen, hauptsächlich zu Beleuchtungszwecken dienenden, Leitungen zu

Grunde legt. Die erste dieser Reihen setzt sich aus den Kupferquerschnitten bis 100 mm^2 zusammen und dient einem Theil der Patent-Bleikabel, sowie den übrigen Normalleitungen als Grundlage. Die zweite Reihe umfasst die Querschnitte über 100 bis 1000 mm^2. Beide Reihen enthalten bestimmte Abstufungen, jedoch findet die Verwendung anderer Querschnitte selbstverständlich nöthigenfalls statt.

Die Isolationsschicht der Patent-Bleikabel wird in der bereits angedeuteten Weise hergestellt. Durch dieses Verfahren erzielt man eine ebenso hohe als auch sichere Isolation, welche auch durch starke Temperaturveränderungen nicht leidet, so dass man die Patent-Bleikabel ebensowohl in siedendes Wasser als auch in Eiswasser legen kann, ohne deren Brauchbarkeit zu beeinträchtigen. In dieser Beziehung bietet die Isolationsart der Patent-Bleikabel einen wesentlichen, nicht zu unterschätzenden Vortheil gegenüber der Isolation durch Guttapercha oder Gummi, während sie in Bezug auf Ladungskapacität der letzteren nicht nachsteht. Bei dem heutigen Stande der Elektrotechnik schwankt die Beanspruchung der Kabel auf Spannung in ziemlich weiten Grenzen. Die Firma hat daher die Konstruktion der Patent-Bleikabel diesen wechselnden Ansprüchen nicht nur durch entsprechend gewählte Stärke der Isolationsschichten, sondern auch durch die Verwendung einer neuartigen Isolationsmasse bei hohen Spannungen, angepasst.

Siemens & Halske fertigen nunmehr die Patent-Bleikabel für folgende Spannungen an:

1. Niedrige Spannungen bis 250 Volt die sogenannten „Installationskabel“ mit der Bezeichnung „I“.

2. Mittlere Spannungen bis 2000 Volt Gleichstrom oder Wechselstrom.

3. Hohe Spannungen bis 3000 Volt Gleichstrom.

Wenn aber auch die Patent-Bleikabel gegen Temperatureinflüsse unempfindlich sind, so wirken doch Nässe und Feuchtigkeit schädlich auf deren Isolation ein. Es muss daher die Isolationsschicht sorgfältig vor derartigen Einflüssen geschützt werden. Diesen Schutz gewährt der Bleimantel, welcher mittelst kalter Pressung in dem Augenblicke, wo die Kabelseele aus der heißflüssigen Tränkmasse tritt, um die Isolationsschicht gelegt wird. Die Wandstärke des röhrenförmigen Bleimantels beträgt, je nach der Stärke des Bleikabels 1 bis 3 *mm*. Ein Haupterfordernis ist die absolute Dichtigkeit des Bleimantels, denn die kleinste Öffnung in demselben schädigt die Isolationsfähigkeit des Kabels. Jedes Patent-Bleikabel wird daher vor einer weiteren Verarbeitung, beziehungsweise Verwendung, gleich nachdem es die Presse verlassen hat, unter Wasser einer elektrischen Prüfung auf Isolation und

Leitungswiderstand unterzogen. Fällt die Prüfung gut aus, so ist damit die vollkommene Dichtigkeit des Bleimantels erwiesen, da jede, auch die kleinste Öffnung in demselben das Eindringen des Wassers in das Kabel und den sofortigen Abfall des Isolationswiderstandes zur Folge hat. Das angewendete Pressverfahren bietet vollkommene Sicherheit in der Herstellung eines tadellosen, d. h. gleichmäßig starken und zur Seele koncentrischen, namentlich aber vollkommen dichten Bleimantels und macht die Anwendung von zwei Bleiüberzügen überflüssig, so dass die Kabel leichter, mithin in ihrer Herstellung und beim Transport billiger werden, sowie unbestreitbar den Vorzug vor solchen Kabeln verdienen, bei denen zwei undichte Bleimäntel einen absolut dichten ersetzen sollen.

Vor ihrer weiteren Verarbeitung unterwirft man die Patent-Bleikabel einer Spannungsprobe, bei welcher man die vorgeschriebene Spannung nicht unwesentlich überschreitet. Bisher haben die vielen untersuchten Kabel ausnahmslos die Probe bestanden.

Die Weichheit des Bleies und seine chemischen Eigenschaften bedingen, dass die Patent-Bleikabel, je nach den Oertlichkeiten ihrer Verwendung, mit einer entsprechenden Schutzhülle versehen werden müssen, weshalb dieselben in vier Formen zur Ausführung gelangen:

1. Blanke Patent-Bleikabel, ohne jede Umhüllung mit der Bezeichnung *KB*.

2. Asphaltirte Patent-Bleikabel, mit einer Umhüllung, bestehend aus einer Umspinnung mit imprägnirter Jute, die zwischen Asphaltlagen (deren erste direkt auf das Blei aufgetragen ist) gebettet erscheint. Diese Kabel werden mit *KA* bezeichnet.

3. Drahtarmirte Patent-Bleikabel, bei welchen das blanke Kabel eine zwischen Jute und Asphalt gebettete Armirung von verzinkten Eisendrähten umgibt. Diese Armirung ist entweder eine geschlossene, wenn sich die einzelnen Drähte derselben berühren (mit der Bezeichnung *KEEA*) oder eine offene, wenn die Anzahl der Armaturdrähte so gering ist, dass sich die Drähte nicht berühren (mit der Bezeichnung *KEA*). Die geschlossene Armatur findet Anwendung bei den Bleikabeln unter 18 *mm* Durchmessr, sowie dann, wenn das Kabel eine größere Zugfestigkeit haben soll. Die offene Armatur gewährt dem Kabel nur einen leichteren Schutz gegen mechanische Verletzungen; dieselbe wird vor Allem bei den sogenannten Installationskabeln mit Vortheil da angewandt, wo die geringe Zugfestigkeit dieser Kabel, den bei Installationsarbeiten oft unvermeidlichen Beanspruchungen, nicht mehr genügt.

4. Bandarmirte Patent-Bleikabel, bei welchen das blanke Kabel zwei, zwischen Jute und Asphalt gebettete, Lagen Bandeisen umgeben.

Diese Kabel werden mit *KBA.* bezeichnet. Die Anordnung der Bandeisenlagen macht die Kabel keineswegs unbiegsam. Beide Eisenbänder legen sich mit gleichem Drall um das, nach dem unter 2 beschriebenen Verfahren asphaltirte, Bleikabel in offenen Spiralen, so dass die eine Bandeisenlage die offenen Spalten der Umwindungen der unteren Bandeisenspirale deckt. Auf diese Weise bleibt die Armatur vollständig biegsam. Ueber die Bandeisenlagen wird wiederum ein Ueberzug von Jute und Asphalt gelegt, um einen rostsicheren Schutz für das Eisen zu erhalten. Der Vorzug dieser Armatur vor derjenigen aus Eisendrähten besteht darin, dass bei der letzteren zwischen je zwei Drähten stets eine, wenn auch noch so feine Ritze also gewissermaßen eine offene Stelle sich befindet, in die das Eindringen eines spitzen oder scharfen Gegenstandes ziemlich leicht stattfinden kann, während die Bandarmatur eine völlig geschlossene Umhüllung bildet, deren glatte, abgerundete Oberfläche das Abgleiten eines Hiebes befördert. Das Eindringen eines spitzen oder scharfen Gegenstandes in die Bandarmatur wurde, wie Versuche erwiesen haben, fast unmöglich; denn es gelang nicht, durch von kräftiger und geübter Hand ausgeführte Hiebe mit der Spitzhacke die Bandarmatur zu durchschlagen. Das Angeführte soll indessen nicht die Behauptung einschließen, dass die Drahtarmatur vollständig zu verwerfen sei. Lokale Verhältnisse können die Anwendung der letzteren, entweder für sich allein oder in Verbindung mit der Bandarmatur, erforderlich machen. Es wird dies überall da der Fall sein, wo ein Kabel einer bedeutenden Zugkraft unterliegt, welcher gegenüber die Bandarmatur als nicht ausreichend erscheint.

Die Asphaltirung hat den Zweck, den Bleimantel und das Eisen vor der Einwirkung chemischer Agentien zu schützen, in befriedigendster Weise erfüllt. Es liegen Proben vor, die von Patent-Bleikabeln entnommen sind, welche Jahre hindurch in einem Erdboden lagen, der alle die Zerstörung des Bleies herbeiführenden Bedingungen vereinigte. An diesen Proben ist nicht die geringste Spur einer Oxydation des Bleies oder Verrottung der Jute zu ersehen. Auch dafür, dass die Asphaltirung das Eisen ausreichend schützt, liegen hinlängliche Beweise vor. Das Blei asphaltirter Bleikabel wurde, der Einwirkung von Kalk, Cement, organischen und anorganischen Säuren versuchsweise längere Zeit hindurch ausgesetzt, nicht angegriffen. Nur Essigsäure, koncentrirte Salpeter- und Schwefelsäure lösen das Blei. Hierdurch erscheint die Haltbarkeit der Patent-Bleikabel zur Genüge bewiesen; es ist aber außerdem für die Haltbarkeit und Dauer der Siemens & Halskeschen Patent-Bleikabel noch dadurch der überzeugende Beweis geliefert worden, dass dieselben theils bei größeren und kleineren elektrischen

Beleuchtungsanlagen in Städten, Bergwerken, Fabriken aller Art und Häusern, theils zu Kraftübertragungen, theils zu Telegraphen- und Telephonleitungen in den verschiedensten Klimaten seit Jahren ohne Störung thätig sind.

Der Umstand, dass elektrische Beleuchtungsanlagen zwei Leitungen, die eine für den Hingang und die andere für den Rückgang des Stromes erfordern, hat dazu geführt, beide Leitungen in einem Kabel zu vereinigen und somit „Patent-Blei-Doppelkabel“ zu konstruiren. Wie bei den einfachen Patent-Bleikabeln die Kupferquerschnitte zweier zusammengehöriger Kabelstränge gleich sind, so sind auch die beiden in einem Patent-Blei-Doppelkabel vereinigten Leiter elektrisch gleichwertig. Die beiden Leitungen werden koncentrisch angeordnet. Die innere Leitung enthält entweder einen massiven oder einen litzenförmigen Kupferleiter, die äußere besteht stets aus einer größeren oder geringeren Anzahl, spiralförmig um die Isolationsschicht der inneren Leitung sich legender, Kupferdrähte. Man strebt dahin, den äußeren Leiter so zusammenzusetzen, dass die Drähte im Querschnitt einen geschlossenen Ring bilden, jedoch ist dies nicht in allen Fällen zu erreichen. Wie die einfachen Patent-Bleikabel, werden auch die Patent-Blei-Doppelkabel entweder mit oder ohne Prüfdrähte angefertigt, und es gelten hierbei für beide Kabelsorten die gleichen Grundsätze. Finden Prüfdrähte Verwendung, so erhält jede Leitung einen solchen, und es muss dann selbstverständlich der innere Leiter ebenfalls litzenförmig sein. Auch in Bezug auf die Isolationsschichten gelten für die Patent-Doppelkabel die bei den einfachen Kabeln üblichen Unterscheidungen, indem die Stärken der Isolirschichten den hinsichtlich der Spannung an die Kabel gestellten Anforderungen entsprechend gewählt werden. Die Patent-Blei-Doppelkabel besitzen den einfachen Kabeln gegenüber gewisse, nicht unerhebliche Vortheile. Zunächst sind sie relativ billiger in der Herstellung, was besonders bei den asphaltirten und bandarmirten Kabeln zur Geltung kommt. Ferner ist das Gewicht eines Doppelkabels naturgemäß weit geringer als dasjenige zweier, das Doppelkabel ersetzender, einfacher Kabel, wodurch sowohl die Verpackungs- als auch die Transportkosten wesentlich verringert werden. Auch vereinfachen die Doppelkabel die Verlegungsarbeiten, verringern deren Kosten und gewähren eine leichtere Uebersicht der Leitungen eines Netzes. Bei Sendungen nach dem Auslande wird oft das Gewicht der Verpackung dem zu verzollenden Kabelgewicht hinzugerechnet; durch die Verminderung der Tara erspart man daher bei den Patent-Blei-Doppelkabeln nicht unerheblich an Zöllen. Für elektrische Beleuchtungsanlagen mit Wechselstrombetrieb sind diese armirten Doppelkabel

aus dem folgenden Grunde von vorzüglichem Werte: Bei der Verwendung einfacher armirter Kabel wird auf die Eisenarmirung durch die Wechselströme ein beständiger magnetisirender Einfluss ausgeübt und so durch die dabei erzeugte elektromotorische Gegenkraft ein so beträchtlicher Stromverlust herbeigeführt, dass die Eisenarmirung solcher Kabel als unzulässig erscheint. Bei den Patent-Doppelkabeln von Siemens & Halske kann jedoch eine derartige Magnetisirung, da sich die Wirkungen der einzelnen Leiter aufheben, gar nicht zu Stande kommen.

Hierin sowohl als auch in dem Umstand, dass keine Induktionswirkung durch etwa benachbarte Theile vorhanden ist, liegt der bedeutende Vorzug der koncentrischen Doppelkabel, deren Fabrikation bereits zu einer solchen Vollkommenheit gediehen ist, dass die Isolation unter Wasser bei Null Grad Temperatur 10000 Millionen Ohm beträgt und man mit Sicherheit darauf rechnen kann, nach der Verlegung an Ort und Stelle, unter Berücksichtigung der durch die Verbindungen hervorgerufenen Isolationsbeeinträchtigungen, 1000 Millionen Ohm für 1 *km* zu erreichen.

Die Anwendung des sogenannten „Dreileitersystems" zur Stromvertheilung bei centralen Beleuchtungsanlagen führte zu einer weiteren Ausbildung des Wesens der koncentrischen Leiter. Es wurden Kabel mit drei koncentrischen Leitern (sogenannte Dreileiter-Kabel) konstruirt und vielfach ausgeführt, die sich ebenfalls vorzüglich bewährt haben.

Die Kupferleiter erhalten bei diesen Kabeln entweder gleichen Querschnitt, oder dieselben werden, dem Wesen des Dreileitersystems entsprechend, nach dem Verhältnisse 1 : 1 : $^1/_2$ bemessen.

Beim Pressen der Patent-Bleikabel finden Bleicylinder von verschiedener Größe Verwendung. Von der Größe dieser Cylinder einerseits und den Querschnitten der Kabel andererseits hängt die Fabrikationslänge der Patent-Bleikabel ab, welche zwischen 1000 und 90 *m* beträgt. Die Wiederholung des Obigen führt zu der folgenden Zusammenstellung der von Siemens & Halske hergestellten Patent-Bleikabel:

I. Einfache Patent-Bleikabel, kurz „Patent-Bleikabel" genannt, und zwar:

Patent-Bleikabel, blank *KB*; asphaltirt *KA*; *KEA* mit offener Drahtarmatur; *KEEA* mit geschlossener Drahtarmatur; bandarmirt *KBA*.

a) Kabel für niedrige Spannungen bis 250 Volt, Installationskabel mit der Bezeichnung „*I*", ohne Prüfdraht.

b) Kabel für mittlere Spannungen bis 2000 Volt Gleichstrom, mit Prüfdraht.

c) Kabel für hohe Spannungen bis 3000 Volt Gleichstrom, mit Prüfdraht.

II. Patent-Blei-Doppelkabel, blank *KB*; asphaltirt *KA*; bandarmirt *KBA*;

Patent-Blei-Doppelkabel mit oder ohne Prüfdraht:

a) Kabel für Spannungen bis 1000 Volt Wechselstrom.

b) Kabel für Spannungen bis 2000 Volt Wechselstrom, in der Fabrik mit 3000 Volt probirt.

c) Kabel für Spannungen bis 2000 Volt Wechselstrom, in der Fabrik bis 5000 Volt probirt.

III. Dreifache-Patent-Bleikabel für Spannungen bis 2000 Volt Gleichstrom, mit oder ohne Prüfdrähte.

Neben den Telegraphenkabeln bilden die Telephonkabel eine besonders wichtige Gattung der Patent-Bleikabel, indem bei denselben die zu dieser Verwendungsweise verlangte, vollständige Beseitigung der Induktion herbeigeführt ist. Bei den Telephonkabeln sind bis zu 38 einzelne, von einander isolirte und mit Rückleitung, beziehungsweise Ableitung versehene Leitungen mit der gemeinsamen Bleihülle umgeben. Durch die Verwendung der unter 1 a angeführten Patent-Bleikabel von 1·0, 1·5, 2·5 Kupferquerschnitt zu ein- und mehradrigen Kabeln (bei letzteren werden die einzelnen Kabel vor der Asphaltirung, beziehungsweise Band- oder Drahtarmirung verseilt) entstehen drei Reihen von ein-, zwei-, drei-, vier-, fünf-, sechs- und siebenadrigen zu Telegraphenzwecken bestimmten und vielfach verwendeten Patent-Bleikabeln, welche bei gleich ausgezeichneten, diesem Zwecke entsprechenden elektrischen Eigenschaften weit wohlfeiler und nicht minder dauerhaft sind, als die Gutterpercha- und Gummikabel. Im Vorstehenden wurde die Notwendigkeit hervorgehoben, die Isolirhülle der Patent-Bleikabel vor Feuchtigkeit zu schützen, und gesagt, dass dies durch den Bleimantel zu erreichen ist. Da aber an den Enden der Kabel die Kupferleiter und die Isolirhüllen aus den Bleirohren heraustreten, so erhält die Feuchtigkeit an diesen Stellen freien Zutritt zu der Isolirschicht, wenn dieses nicht durch besondere Vorrichtungen verhütet wird. Diese Vorrichtungen bestehen aus den Endverschlüssen, deren Konstruktion nach der Art der mit ihnen zu versehenden Kabel sehr verschieden ist. Ueber die Verwendung der Endverschlüsse genügt für den vorliegenden Zweck eine allgemeine Uebersicht. Es sind folgende Klassen zu unterscheiden:

1. Endverschlüsse zu den Patent-Bleikabeln ohne Prüfdraht und mit massiven Leitern.

Dieselben bestehen aus vulkanisirtem Gummi. Man kann an denselben, mit Bezug auf Fig. 247, drei Theile unterscheiden, nämlich:

a) Der Theil a, welcher den Kupferleiter umschließt.

b) Der Theil b, der sich um das Blei legt und die Isolirhülle umgibt.

c) Der Theil c, welcher über die Asphaltirung gezogen wird und der bei den Endverschlüssen an blanken Patent-Bleikabeln fortfällt.

2. Endverschlüsse zu den Patent-Bleikabeln ohne Prüfdraht mit litzenförmigen Leitern.

Bei diesen Endverschlüssen ist zu unterscheiden, ob dieselben für Kabel mit Kupferleitern unter 100, oder für Kabel mit Kupferleitern

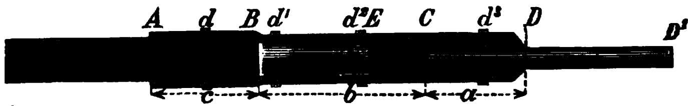


Fig. 247.

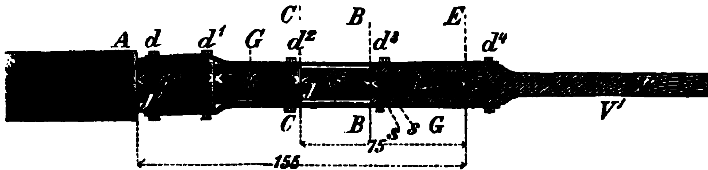


Fig. 248.

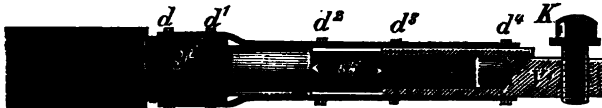


Fig. 249.

über 100 mm^2 Querschnitt verwendet werden sollen; diese Art von Endverschlüssen stellen Fig. 248 und 249 dar.

a) Die Endverschlüsse zu den Kabeln mit Kupferleitern unter 100 mm^2 Querschnitt, Fig. 248, bestehen aus einem verzinnten Messingrohr V von 65 *mm* Länge mit dem massiven, 100 *mm* langen cylindrischen Ansatze V' und einem 175 *mm* langem Gummischlauch G, welcher sich über das Messingrohr schieben lässt und dasselbe dicht umschließt. Das Messingrohr dessen Wandungen mit vier spitzen Klemmschrauben S aus gehärtetem Stahl versehen sind, hat eine, dem Durchmesser des betreffenden Kupferleiters entsprechende, lichte Weite, während sein äußerer Durchmesser dem des betreffenden Bleimantels gleich ist. Die Tiefe der Bohrung des Rohres beträgt rund 55 *mm*.

b) Die Endverschlüsse für Kabel mit Kupferleiter über 100 mm^2 Querschnitt, Fig. 249, wie sie z. B. bei Abzweigungen verwendet werden, unterscheiden sich von den vorigen nur in der Form des Messingstückes *V*. Letzterem fehlt bei den Endverschlüssen zu Kabeln von über 100 mm^2 Kupferquerschnitt der obenerwähnte Ansatz *V'*, an dessen Stelle hier die eingefräste, mit der Kopfschraube *K* versehene Fläche oberhalb *V* tritt.

3. Endverschlüsse zu den Patent-Bleikabeln mit litzenförmigen Leitern und mit Prüfdraht.

Auch bei diesen Endverschlüssen sind, wie unter 2, diejenigen für Kabel mit Kupferleitern unter und über 100 mm^2 Querschnitt zu unterscheiden:

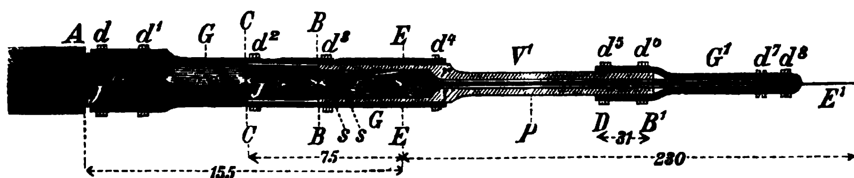


Fig. 250.

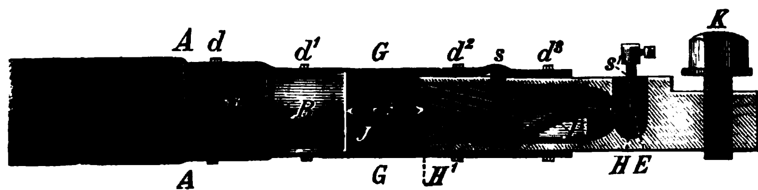


Fig. 251.

a) Die Endverschlüsse zu Kabeln mit Kupferleitern unter 100 mm^2 Querschnitt, Fig. 250, setzen sich aus den unter 2a erwähnten Theilen zusammen, zu denen noch ein Endverschluss *G* aus Gummi, wie unter 1 aufgeführt, hinzutritt. Das Messingstück *V* dieser Endverschlüsse unterscheidet sich indessen von demjenigen der unter 2a angeführten dadurch, dass der Ansatz *V'* zur Durchführung des Prüfdrahtes in der Richtung seiner Längsachse durchbohrt ist. Der Endverschluss G^1 dient dazu, die Feuchtigkeit von dem hervortretenden Prüfdrahte abzuhalten und die Dichtung von *D* bis *B'* zu bewirken.

b) Die Endverschlüsse zu Kabeln mit Kupferleitern über 100 mm^2 Kupferquerschnitt, Fig. 251, sind denen unter 2b angeführten ganz ähnlich, unterscheiden sich aber wesentlich dadurch, dass bei ihnen hinter der angefrästen Fläche *F* ein kleiner Hartgummicylinder *H* ein-

gesetzt ist, welcher die zum Einklemmen des Prüfdrahtes bestimmte Messingschraube *S'* isolirt und zur Aufnahme des Prüfdrahtleiters in der Achsenlinie des Messingstückes, also rechtwinklig zur Schraube *S'*, eine über diese hinausgehende, aber an der entgegengesetzten Seite nicht austretende Bohrung hat.

4. Endverschlüsse zu den Patent-Blei-Doppelkabeln mit massivem, inneren Leiter (also ohne Prüfdraht), Fig. 252.

Diese Endverschlüsse bestehen aus den durch Schrauben zusammengehaltenen Klemmbacken *BB'*, welche zur Aufnahme der äußeren Leitung dienen, ferner aus dem Gummischlauch *G*, welcher die Abdichtung zwischen *B* und den Bleimantel bewirkt, dem Gummischlauch *G'*,

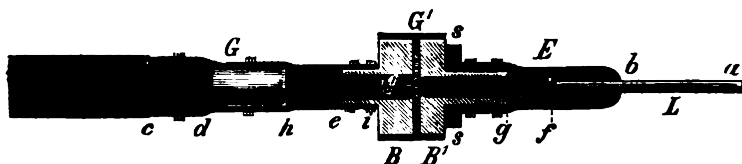


Fig. 252.

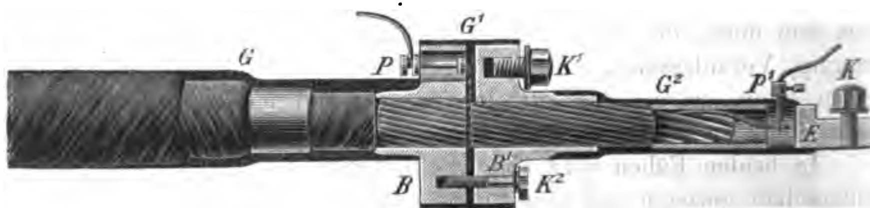


Fig. 253.

welcher den Eintritt der Feuchtigkeit zwischen *B* und *B'* verhindert, und endlich aus dem Endverschlusse *E*, welcher für die Abdichtung zwischen dem freigelegten Kupferleiter und der Klemmbacke *B'* dient.

5. Endverschlüsse zu den Patent-Blei-Doppelkabeln mit Prüfdrähten.

Dieselben bestehen, nach Fig. 253, aus den Klemmbacken *B* und *B'*, von denen *B* mit der zur Aufnahme der äußeren Leitung bestimmten Vorrichtung *P* versehen ist; aus dem Endverschluss *E*, welcher wie die unter 3b angeführten Endverschlüsse konstruirt und zur Aufnahme des inneren Leiters mit seinem Prüfdrahte dient; aus dem Gummischlauch *G* zur Abdichtung zwischen Bleimantel und *B*; aus dem Gummischlauch *G'* zur Abhaltung der Feuchtigkeit von *B B'* und endlich aus dem Gumischlauch *G"* zur Abdichtung zwischen *E* und *B'*.

Zur Verwendung der Patent-Bleikabel und Patent-Blei-Doppelkabel ist es weiter erforderlich, die einzelnen Kabellängen leicht und sicher unter einander verbinden zu können. Hierzu dienen die ihrer Form wegen gewöhnlich „gerade Muffen“ genannten Verbindungsmuffen, die bei der Legung der Patent-Bleikabel besprochen werden sollen.

Der mehrerwähnte Prüfdraht besteht aus einem Kupferdrahte von 1 bis 1·5 mm^2 Querschnitt, der mit Jute- oder Baumwoll-Garn besponnen und im ersteren Falle mit einer weitmaschigen Beklöppelung versehen ist. Die Stärke der Bespinnung hängt von der Drahtstärke des Leiters, zu welchem der Prüfdraht verwendet werden soll ab, indem der äußere Durchmesser des letzteren ungefähr dem der nebenliegenden Drähte gleich sein muss. Die Bespinnung des Prüfdrahtes wird in gleicher Weise wie die der Kabelseele ausgeführt, und hat daher auch die gleichen Eigenschaften. Es muss deshalb, wenn das Patent-Bleikabel an einer Stelle eine Beschädigung erfährt und Feuchtigkeit in den Bleimantel eindringt, gleichzeitig mit der Isolation der Seele auch die Isolation des Prüfdrahtes heruntergehen oder gänzlich beseitigt erscheinen. Rückschließend ergibt sich, dass, wenn die Isolation des Prüfdrahtes einen entsprechend hohen Wert annimmt, auch die des Kabels eine gute sein muss, da, wenn ein Patentbleikabel als gut aus der Fabrik ausging, Veranlassung zum Niedergang der Isolation nur Feuchtigkeit geben kann, sei es, dass dieselbe an den Kabelenden oder an sonst einer Stelle eingedrungen ist.

In beiden Fällen wird aber die Isolation des Prüfdrahtes in Mitleidenschaft gezogen und eine Prüfung dieser Isolation auch Aufschluss über das Verhalten der Isolation des Kabels selbst geben. Behufs Prüfung einer Kabellinie braucht man daher die Kabel selbst nicht aus dem Stromkreise auszuschalten, wie es ohne Prüfdrähte nöthig sein würde, sondern es ist nur erforderlich, die Prüfdrähte bloßzulegen, wozu die freien Kabelenden mit ihren Endverschlüssen, sowie die Vertheilungskästen Gelegenheit bieten. Der Prüfdraht ermöglicht es daher, eine Kabellinie auf ihre Isolation zu prüfen, ohne den Zusammenhang derselben aufheben zu müssen, wodurch man wesentlich an Zeit spart, was in Bezug auf die mit einer solchen Prüfung verbundene Betriebsstörung (da diese Prüfung nur mit stromfreien Kabeln vorgenommen werden kann) von größter Wichtigkeit erscheint. Der Hauptzweck der Prüfdrähte ist es aber, mit ihrer Hilfe die Spannung an bestimmten Stellen der Kabellinie leicht prüfen zu können. Die Prüfdrahtleiter werden zu diesem Zwecke an der zu untersuchenden Stelle mit dem Leiter des Kabels in Kontakt gebracht. Bei den Hauptkabeln der Berliner Centralen z. B. geschieht dies da-

durch, dass man in den Vertheilungskästen die Klemme des Prüfdrahtes durch einen, auf der Kupferverbindung festgeschraubten, Draht mit letzterer verbindet und so die Verbindung zwischen Prüfdraht und Hauptleiter im Kabel herstellt; das andere Ende des Prüfdrahtes wird zum Galvanometer geführt, an dessen Ausschlag man die, an der betreffenden Stelle der Leitung herrschende Spannung messen kann.

140. Die Legung der Patent-Bleikabel. Der Kabellegung muss eine allgemeine Orientirung über die den Kabeln zu gebende Lage vorangehen. Dabei ist zu berücksichtigen, ob auf dem mit den Kabeln einzuschlagenden Wege mechanische Verletzungen oder schädliche chemische Einflüsse für die Kabel zu befürchten sind. Von diesen Erwägungen hängt nicht nur das zu bestellende Kabelquantum, sondern auch die Wahl der Kabelgattung ab. Für den Fall, dass die Kabel mechanischen Verletzungen durch Ausgrabungen oder anderen Zufälligkeiten unterliegen können, wie dies auf öffentlichen Straßen und Plätzen oder in befahrenen Flussläufen und Kanälen, oder an Orten, wo Bauten vorgenommen werden können, in Aussicht zu nehmen ist, finden bandarmirte, oder mit Drahtarmatur versehene Kabel Verwendung: in solchen Fällen dagegen, wo nicht derartige Verletzungen, wohl aber schädliche Einwirkungen auf die Kabel durch die chemische Beschaffenheit des Bodens oder des Wassers (z. B. in Gruben) oder der mit den Kabeln in Berührung kommenden Gase (z. B. in Fabriksräumen) möglich sind, muss man asphaltirte Kabel zur Anwendung bringen. .Blanke Patent-Bleikabel sollte man nur in Gebäuden verlegen. Siemens & Halske erhielten wohl die Mittheilung, dass Bleirohre von Ratten abgenagt wurden; sie haben keinen Grund, diese Mittheilung anzuzweifeln, soweit sie sich auf Wasserrohre bezieht, weil es wohl denkbar ist, dass die Thiere durch Annagen der Rohre das Wasser zu erreichen suchen. Die Zeitung für Gas- und Wasserfach sagt in ihrer Nr. 10 von 12. Mai 1887 es sei festgestellt. dass die Ratten, das Schwitzwasser an den Bleirohren ablecken und hierbei dieselben auch annagen. Siemens & Halske heben hervor. dass ihnen nicht ein einziger Fall bekannt ist, in denen blanke Bleikabel von Ratten oder Mäusen angenagt wurden, obwohl in den zur Aufbewahrung von größeren Mengen blanker Bleikabel dienenden Räumen zeitweise viel Ratten zu finden sind. Sollte man indessen diese Befürchtung hegen, so möge man die Bleikabel asphaltirt anwenden. Siemens & Halske haben die Beobachtung gemacht, dass getheerte oder asphaltirte Jute stets von den Nagethieren verschont blieben. Papier- oder Pergamentetiquetten, welche mit ungetheerten Bindfaden an den Kabeln befestigt waren, wurden mitsammt dem Faden

abgefressen, bei Verwendung von getheertem Jutegarn zum Befestigen der Etiquetten verschwanden letztere, der Faden selbst blieb aber stets übrig.

Der Verlegung der Kabel muss die Vorzeichnung des einzuschlagenden Weges vorangehen. Hierbei ist dahin zu streben, dem Kabel eine möglichst gesicherte Lage zu geben und kurze Biegungen oder Knicke zu vermeiden. Soweit es möglich ist, sind Ueberkreuzungen mit Gas- und Wasserrohren, sowie Abzugskanälen und ähnlichen Anlagen, welche leicht zu Ausgrabungen Anlass geben und hierdurch eine Gefahr für die Kabel herbeiführen können, zu umgehen. Wo dies nicht möglich ist, gilt es als Regel, die Kabel unter solchen Hindernissen hinwegzuführen, um die daraus für die Kabel entspringende Gefahr auf das denkbar geringste Maß zu bringen. Da die Unterführung der Kabel bezüglich der Rohrleitungen u. s. w. schwieriger und kostspieliger ist, als die Verlegung in einem offenen Graben, erscheint auch aus diesem Grunde die thunlichste Umgehung von dergleichen Hindernissen geboten. Abzugscanälen, Dungstätten, und anderen Oertlichkeiten, wo in Folge von Ammoniakentwickelung, die Bildung von Salpetersäure, oder solche wo, wie im humusreichen Boden, das Auftreten von Säuren zu befürchten ist, muss man nach Möglichkeit aus dem Wege gehen. Die Tiefe des Grabens, welche bei Guttapercha- und Gummikabeln von Wichtigkeit ist, fällt bei den Patentbleikabeln, welche selbst große Temperaturschwankungen nicht schädlich beeinflussen, viel weniger ins Gewicht. Im Allgemeinen genügt eine Tiefe von $^1/_2$ bis $^1/_3$ Meter und hierin liegt ein wesentlicher Vorzug dieser Patent-Bleikabel gegenüber den andern Kabeln, die mindestens einen Meter tief zur Verlegung kommen. Es empfiehlt sich den Graben an den Stellen, wo Muffen verlegt wurden, tiefer zu machen, damit letztere nicht zu nahe der Oberfläche liegen. Die Breite des Grabens richtet sich nach der Zahl und Stärke der zu verlegenden Kabel; im Allgemeinen soll die Grabensohle so breit sein, dass sämmtliche Kabel auf derselben ausreichenden Platz finden. Indessen können örtliche Verhältnisse (wie bei den Berliner Centralen) die Grabenbreite beschränken, wodurch es geboten wird, die Kabel übereinander zu legen. Obschon vom elektrischen Standpunkte aus gegen diese Anordnung kein Bedenken vorliegt, sollte sie doch nur im Nothfalle erfolgen, weil die Zugänglichkeit zu den untenliegenden Kabeln erschwert wird. Bei Anwendung von den zuerst zu berücksichtigenden einfachen Patent-Bleikabeln zu Beleuchtungsanlagen kommen mindestens zwei Kabel (+ und —) zur Verlegung. Es muss daher bei der Verlegung eine bestimmte Regel festgehalten werden, um an jeder beliebigen Stelle

leicht bestimmen zu können, mit welchem Kabel man es zu thun hat. Bei den Berliner Centralen gilt als Regel, das den positiven Strom leitende Kabel (kurz das positive Kabel), vom Ausgangspunkt (Maschinenhause) aus gesehen, stets rechts, das den negativen Strom leitende (kurz negative Kabel) stets links zu legen. Bei mehreren, in demselben Graben zu verlegenden Stromleitungen (Kabelpaaren) ist es unumgänglich nöthig, dieselben zu zeichnen.

Bei Kabeln von verschiedenen Querschnitten der Kupferleiter dienen die Querschnitte zweckmäßig zur Bezeichnung derselben; Kabel mit gleichen Querschnitten werden mit Zahlen versehen. Bei den Berliner Centralen hat man zur Bezeichnung der Leitungen s. g. Polaritätszeichen angewandt, und zwar, um dieselben von vornherein kenntlich zu machen, für die positiven Kabel Bleistreifen, für die negativen Kabel Bügel aus verzinktem Bandeisen. Auf den Polaritätszeichen, welche sofort nach der Verlegung eines Kabels in kurzen Entfernungen von einander, etwa von 2 Meter zu 2 Meter, angebracht werden, sind außer dem Plus- und Minuszeichen die betreffenden Kupferquerschnitte angegeben. Vervollständigt werden diese Bezeichnungen durch die Angabe des Kastens, zu welchem die Kabel führen.

Zum Ausgangspunkt der Verlegung dient, sobald es sich um eine Neuanlage handelt, zweckmäßig das Maschinenhaus. Bei der Verlegung soll man für die thunlichst rasche Verbindung der verlegten Kabel sorgen, damit die elektrische Messung des Netzes von der Centralstation ermöglicht, vereinfacht und selbst sicherer wird, als wenn die Instrumente, zur Ausführung der Messungen, auf der Straße Aufstellung finden müssen. Zu beachten ist, dass die Kabel nicht zu straff und nicht zu schlaff (in Bögen) im Graben liegen, sowie dass sie stets ihre relative Lage beibehalten d. h. sich nicht kreuzen. Die Kabel kommen entweder auf Trommeln oder in Ringen zur Anlieferung. Im ersteren Falle wird die Trommel mit einer eisernen Welle so auf Böcke gelegt, dass sich das Kabel von oben abrollt, im anderen Falle muss man sich eine Abwickelvorrichtung schaffen, die in einfachster Form aus einem frei schwebenden, in horizontaler Lage um einen Dorn sich drehenden Bohlenkreuze von passender Größe besteht. Auf dieses Kreuz wird der Kabelring gelegt und von außen nach innen abgewickelt. Eine sehr zweckmäßige Vorrichtung ist die von obiger Firma zum Verlegen von Kabelringen verwendete, mit Rädern und Deichsel versehene Verlegungsscheibe, die auch zum Transport der Kabelringe (auf kürzeren Entfernungen, z. B. vom Aufbewahrungsorte zur Verlegungsstelle) benützt wird. Beim Verlegen der Kabel ist die Bildung von Schleifen und Knicken sorgfältig zu vermeiden, wozu die richtige Aufstellung der Arbeiter am Graben

viel beiträgt. Dieselben dürfen weder zu nahe, noch zu weit von einander Aufstellung finden, weil im ersteren Falle die Arbeit unnöthig vertheuert, im anderen zu sehr erschwert, die Schlingenbildung begünstigt, und unter Umständen das Kabel durch Schleifen am Boden beschädigt wird. Letzteres gilt namentlich für blanke Bleikabel. An der Trommel oder am Kreuz, beziehungsweise der Verlegungsscheibe steht ein Arbeiter zur Ueberwachung der Abwickelung dessen Aufgabe es ist, ein Voreilen der Abwickelvorrichtung, also ein zu rasches Abgleiten und somit eine Verwirrung des Kabels zu verhindern. Aus verschiedenen Gründen, namentlich auch deshalb, um die Kabel möglichst bald äußeren Einflüssen zu entziehen, empfiehlt es sich, mit der Verlegung abtheilungsweise vorzugehen, d. h. in einem, durch die größte Kabel-

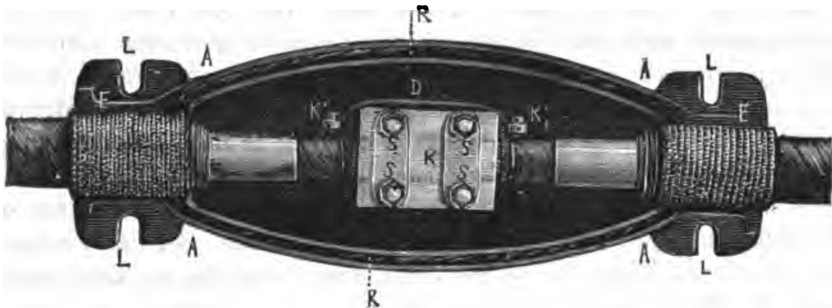


Fig. 254.

länge bestimmten Grabenabschnitt erst alle Kabel zu verlegen, und den Graben zu schließen, ehe mit dem folgenden Abschnitte begonnen wird. Die Patent-Bleikabel kommen in gewissen, von ihrem Kupferquerschnitte abhängigen, Maximallängen zur Anfertigung, beziehungsweise Anlieferung. Wenn eine solche Länge nicht ausreicht, müssen zwei oder mehrere Längen mit einander verbunden werden, was auf einfache und sichere Art mittelst Muffen sog. Verbindungs- oder geraden Muffen (letztere Benennung ist die gebräuchliche) erfolgen kann.

Die geraden Muffen, Fig. 254, bestehen aus einem zweitheiligen, gusseisernen Gehäuse A, der eigentlichen Muffe, und aus der Klemme K. Ferner gehören dazu die Isolirmasse (Füllmasse genannt) zum Ausgießen des Gehäuses und — bei Kabeln mit Prüfdrähten — 2 Prüfdrahtklemmen K' und ein Stück isolirter Draht (Gummiader) D. Die Muffe selbst besteht aus dem Untertheil und dem, mit einer Eingussöffnung versehenen Obertheil. An diese Theile sind Laschen L angegossen, welche zur Aufnahme der Mutterschrauben dienen, mit denen

die beiden Muffentheile fest verbunden werden. Das Untertheil hat an seiner oberen Kante eine Rille oder Nuth *R*, in welche eine am Obertheile angegossene Wulst passt. Indem in die Nuth Jutegarn eingelegt wird, dient diese Einrichtung zum Abdichten der zusammengefügten Muffentheile. Die Eingussöffnung des Obertheils verschließt ein Schraubenstöpsel. An ihren Enden *E* erhält die Muffe kreisrunde, dem äußeren Durchmesser des einzulegenden Kabels angemessene Oeffnungen. Die Klemmen bestehen aus zwei, durch Schrauben *S* zusammengehaltene, mit dem betreffenden Kupferleiter entsprechenden Längsbohrungen versehenen Theilen aus verzinntem Messingguss. Die zur Verwendung kommenden Muffen richten sich in ihrer Größe nach den Kupferleitern der Patent-Bleikabel und sind zur Zeit 10 Modelle, etwa von 100 zu 100 mm^2 abstufend gebräuchlich. Zu bemerken ist noch, dass eine Abart dieser Verbindungsmuffen durch die, zur Verbindung von Kabeln mit verschiedenen Kupferquerschnitten bestimmten Reduktionsmuffen gebildet wird, welche sich von den Verbindungsmuffen nur dadurch unterscheiden, dass Klemme und Muffe an den Enden verschieden gebohrt sind.

Die Verbindung zweier Kabelenden erfolgt in nachstehend beschriebener Weise: In einer Entfernung vom Ende des Kabels, die um einige Centimeter geringer ist als die halbe lichte Muffenlänge, wird das Kabel mit verzinktem Eisendraht fest abgebunden, sowie der Bleimantel durch Entfernung der Asphaltirung und der Bandeisen- oder Drahtarmatur freigelegt. Dann schneidet man in einer Entfernung, die um einige Millimeter größer ist als die halbe Klemmenlänge, durch einen rings um das Kabel gehenden, senkrecht zur Kabelachse ausgeführten Schnitt, das Bleirohr ein; bei Anwesenheit eines Prüfdrahtes darf der Schnitt nicht vollständig durchgehen. Von diesem Schnitt wird das Bleirohr bis zum Ende, je nachdem ein Prüfdraht vorhanden ist oder nicht, entweder stark eingeritzt oder völlig durchgeschnitten, mit einer Zange abgehoben, die hierdurch freigelegte Isolirschicht abgewickelt und dieselbe, um die, den Prüfdraht umgebende Isolirhülle nicht zu beschädigen, mit einer Schere dicht an der Schnittstelle abgeschnitten. Weiters hebt man den Prüfdraht aus seiner Lage heraus, biegt denselben zurück und putzt den freien Kupferleiter blank. In beschriebener Weise wird dann ein, bei allen Kabelquerschnitten gleiches und zwar 30 *mm* langes Stück Isolirhülle vom Blei befreit und dieselbe vor dem Aufribbeln, durch Umbinden mit einem trockenen Faden, gesichert. Um der Gefahr zu begegnen, welche der Isolation der in den Muffen eingeführten Kabel dadurch erwächst, dass die Feuchtigkeit der äußeren Umhüllung bis zur freigelegten Isolirhülle in der

Muffe gelangen könnte, bestreicht man die Stelle an welcher die Bandarmatur, beziehungsweise die Asphaltirung, in der Muffe endet, so mit halbflüssiger Füllmasse, dass sich ein allmäliger Uebergang zwischen der äußeren Umhüllung und dem Bleimantel bildet; hiernach bewickelt man die Stelle sorgfältig und fest mit Streifen aus Naturgummi, so dass eine Kappe auf dem Ende der äußeren Umhüllung gebildet wird. Behufs einer innigeren Verbindung zwischen Blei und Füllmasse lässt man den, von der Fabrikation herrührenden Asphaltüberzug auf dem Bleimantel, bestreicht diesen noch gut mit entwässertem, angewärmten Steinkohlentheer, welcher in geeigneten Büchsen mitfolgt. Sind beide zu verbindende Kabelenden in dieser Weise hergerichtet, und die Kabel an den Stellen *E*, wo sie in die Muffen eintreten, so dick mit getheerter Jute umwickelt, dass hier eine vollkommene Abdichtung zwischen Kabel und Muffe stattfindet, so legt man die Kabelenden in das Untertheil der Muffen derartig ein, dass die Kupferleiter stumpf aneinander stossen. Nun wird die Klemme *K* um die Kupferenden gelegt, und die Verbindung (der Kontakt) derselben durch möglichst festes Anziehen der Klemmschrauben *S* herbeigeführt. Sind Prüfdrähte vorhanden, so werden ihre Enden bis auf etwa 30 *mm* abgekniffen, die Hälfte der bleibenden Stücke von der Isolirhülle befreit, die Kupferdrähte gesäubert, und unter Anwendung der erwähnten Prüfdrahtklemmen *K'*, durch einen isolirten, entsprechend langen Draht *D* (zweckmäßig Gummiader) untereinander verbunden. Bei richtigen Abmessungen ragt von jedem Kabel, wie unbedingt erforderlich, ein Stück der Asphaltirung, beziehungsweise Bandeisenarmatur, in die Muffe hinein. Nachdem die Dichtungsjute in der Rille des unteren Muffentheils liegt, wird das Obertheil fest aufgeschraubt, und die Muffe (durch den Einguss), unter Erwärmen derselben, mit geschmolzener Isolirmasse (Füllmasse) ausgegossen. Das Eingießen muss nach und nach geschehen, um die Bildung von Hohlräumen in der Masse zu verhüten, weshalb auch das Anwärmen der Muffe vorgeschrieben ist. Hat man die Muffe, bis dicht unter den Einguss, mit Füllmasse ausgegossen, dann beendet das Einschrauben des Stöpsels in die Eingussöffnung die Operation. Bei dieser Arbeit, sowie bei allen mit den Patent-Bleikabeln vorzunehmenden Arbeiten, bei denen die Isolirschicht freigelegt wird, wie dies bei dem Anbringen von Endverschlüssen, der Herstellung der Abzweigungen u. s. w. der Fall ist, muss die größte Sauberkeit herrschen, um die Isolirschicht vor Staub und Feuchtigkeit zu schützen. Hieraus ergibt sich, dass derartige Arbeiten nur mit sauberen, trockenen Händen und, wenn dieselben im Freien zur Ausführung gelangen müssen, nur unter einem Zelt (Lötherzelt) vorgenommen werden dürfen. Zur Verbin-

dung der Kabelenden sei noch bemerkt, dass schon beim Verlegen der Kabel auf die richtige gegenseitige Lage der Enden zu achten ist. Es erweist sich als rathsam die Kabel, an den Stellen, wo Verbindungen stattfinden müssen, in einem kleinen Bogen zu verlegen, damit, bei etwa erforderlicher Neuanfertigung der Verbindung, die Kabel frisch beschneidbar sind, ohne dass sie hierdurch zu kurz werden.

Arbeitet man nicht genau nach obigen Vorschriften, so kann leicht ein unnöthiger Verschleiß und durch diesen, bei dem oft hohen Werte der Kabel, ein mehr oder weniger beträchtlicher Schaden erwachsen.

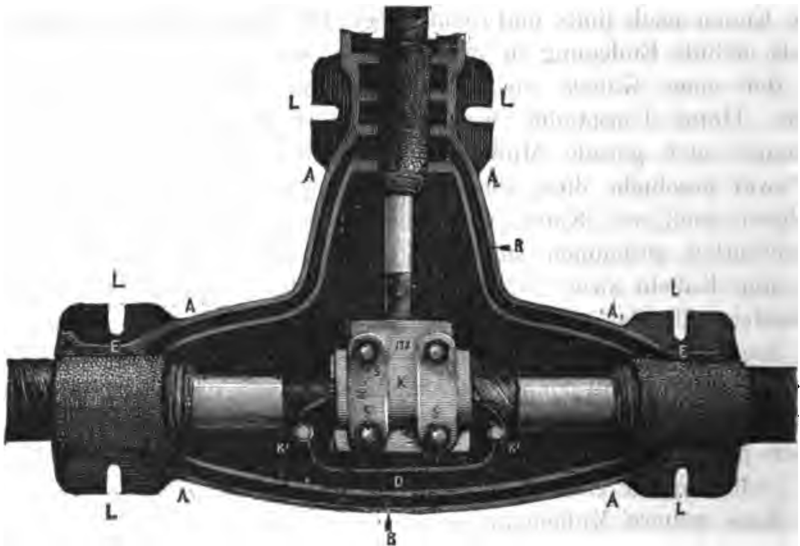


Fig. 255.

Nur in den seltensten Fällen durchlauft der volle, in die Kabel von den Maschinen eintretende elektrische Strom, die ganze Kabellinie ohne dabei, sei es zur Speisung einzelner Lampen oder zur Speisung von Lampengruppen, theilweise Benutzung zu finden. Will man aber vom Hauptstrom einen größeren oder kleineren Stromtheil abzweigen, so wird die Verbindung einer Zweigleitung von entsprechenden Kupferquerschnitt mit dem stromführenden Kabel erforderlich. Zur Herstellung solcher Verbindungen dienen die, in ähnlicher Weise wie die geraden Muffen zusammengesetzten ┬-Muffen, Fig. 255. Die Gehäuse und Klemmen beider Gattungen unterscheiden sich wesentlich in ihrer Form, indem die ┬-Muffe gewissermaßen aus einer geraden und einer rechtwinklig daran gesetzten halben geraden Muffe besteht, so dass ein drittes Kabel in dieselbe eingeführt werden kann. Die Herrichtung und Ver-

wendungsweise der ⊤-Muffen ist ganz ähnlich wie bei den geraden Muffen, da bei den Abzweigungen nur die Anbringung des dritten Kabelendes hinzutritt. Hervorgehoben muss indessen werden, dass an jeder beliebigen Stelle eines Kabels eine Abzweigung, ohne die Durchschneidung von dessen Kupferleiter, möglich erscheint. Es genügt demnach den Punkt an dem stromzuführenden Kabel zu bestimmen, wo die Abzweigung stattfinden soll und von diesem Punkte aus nach rechts und links so zu verfahren, wie dies bei der Herstellung der Verbindungen schon beschrieben worden ist, mit dem Unterschiede, dass man den Prüfdraht in der Mitte durchschneidet und seine Enden nach links und rechts biegt. Die Herrichtung des Abzweigkabels, behufs Einlegung in die ⊤-Muffe, unterscheidet sich in Nichts von der eines Kabels zur Herstellung einer Verbindung mit gerader Muffe. Unter Umständen werden die ⊤-Muffen gleichzeitig als Verbindungs- oder gerade Muffen bezw. als Reduktionsmuffen verwendet, und zwar geschieht dies, wenn Abzweigungen an solchen Stellen auszuführen sind, wo Kabel von gleichen, bezw. verschiedenen Kupferquerschnitten zusammen stoßen. Für jede Abzweigungsstelle sind bei einfachen Kabeln zwei ⊤-Muffen erforderlich, die eine für das positive, die andere für das negative Kabel. Die Wahl der Muffe richtet sich stets nach dem Kupferquerschnitt des stromzuführenden Kabels, es müssen indessen zur richtigen Anfertigung auch die Querschnitte der abzweigenden Kabel bekannt sein, damit die Bohrungen der Muffe danach gemacht werden. Wie bei den geraden Muffen sind auch bei den ⊤-Muffen zur Zeit 10 Modelle gebräuchlich.

Eine weitere Muffengattung ist die +-Muffe, welche in letzterer Zeit öfter Verwendung fand, um an einem Punkte vier Kabel zu vereinigen.

Die Enden der Patent-Bleikabel, soweit dieselben nicht in Muffen oder in die noch zu betrachtenden Abzweig- oder Vertheilungskasten eingeführt wurden, sind mit besonderen Schutzvorrichtungen, Endverschlüsse genannt, zu versehen. Diese Endverschlüsse sind für alle zu Tage tretenden Kabelenden anzuwenden; dagegen werden diejenigen Kabelenden bei größeren, allmälich sich erweiternden Beleuchtungsanlagen, welche zunächst unbenützt in der Erde liegen bleiben sollen, provisorisch in gerade Muffen eingeführt, die nur an einem Ende gebohrt sind, wobei man nach obiger Anleitung verfährt; oder man verschließt die Kabelenden durch Bleikappen, d. h. man schiebt auf den freigelegten Bleimantel, des entsprechend hergerichteteten und mit Gummi umwickelten Kabelendes, ein nicht zu enges Stück Bleirohr, welches das Kabelende um mehrere Centimeter überragen muss. Dieses Bleirohr wird auf dem

Bleimantel mittelst Eisendraht an zwei Stellen fest verschnürt, mit Füllmasse ausgegossen und am oberen Ende zuerst plattgedrückt, sodann verlöthet. Letzteres ist das Verfahren, welches zur Sicherung der Enden, der aus der Fabrik ausgehenden Kabel, Verwendung findet. Bei der Betrachtung der Muffen wurden zunächst nur die einfachen Patent-Bleikabel, sowie bei den folgenden Bemerkungen über das Anbringen der Endverschlüsse, berücksichtigt, indem die auf Patent-Blei-Doppelkabel bezüglichen Bemerkungen später folgen.

Unter Hinweis auf die, im Abschnitt über Bleikabelfabrikation gegebene Eintheilung der Endverschlüsse ist zunächst das Anbringen der letzteren an Kabel mit massiven Leitern zu beschreiben. Hier soll ein bandarmirtes Kabel besprochen werden, weil es sich hieraus von selbst ergibt, wie man bei den asphaltirten und blanken Kabeln verfahren muss. In einer Entfernung vom Ende des Kabels, welche gleich ist der Summe der Länge, des aus dem Endverschlusse (Gummifaçonstücke) hervorragenden Kupferleiters *D—D'*, Fig. 247, und der Gesammtlänge *AD* des Endverschlusses, wird das Kabel mit verzinktem Eisendraht abgebunden und die, das Bandeisen bedeckende, äußere Jutelage, nachdem dieselbe dicht über der Bindestelle durchgeschnitten wurde, entfernt. Hierauf hebt man die beiden Bandeisenlagen nacheinander ab, wozu dieselben dicht über der Bindestelle eingefeilt werden müssen. Die hierdurch freigelegte, untere Jutelage wird nun in einer, der Länge des erweiterten Ansatzes am Endverschlusse *AB* gleichen Entfernung von der mehr erwähnten Bindestelle mit einem starken Faden abgebunden, vom Ende aus abgewickelt und mit einer Schere über der Bindestelle *B* abgeschnitten. Nachdem das freigelegte Bleirohr mit einem kantigen, nicht scharfen Instrumente (z. B. einem Messerrücken) blank geschabt worden ist, führt man einen kreisförmigen, zur Kabelachse senkrechten, Blei- und Isolationsgespinnst bis zum Kupfer durchsetzenden, aber Letzteres nicht beschädigenden Schnitt bei *C*, d. i. in einer Entfernung von *B*, welche der Länge des Rohres *b* im Endverschlusse entspricht, aus.

Weiters entfernt man das Bleirohrstück und das Isolationsgespinnst von dem Ende *CD'*, putzt den freien Kupferleiter blank, ritzt bei *E* (*CE* ist ungefähr $^1/_3$ der Länge *BC*) das Bleirohr senkrecht zu seiner Achse ringsherum stark ein und trennt und zieht das Rohrstück *CE* durch Hin- und Herbiegen völlig ab.

Nachdem das bloßgelegte Stück Isolationsgespinnst mit einem reinen, trockenen Faden fest bewickelt worden ist, taucht man das Kabelende in warmflüssige Tränkmasse ein, so dass diese an dem Stück *BD* haftet, und den Absatz zwischen Blei und Isolationsschicht ziemlich ausgleicht. Schließlich wird der Endverschluss *AD* aufgeschoben und an den Stellen

d, d^1, d^2 und d^3 mit seidenbesponnenen, in mehreren Windungen umlegten Kupferdraht stark eingeschnürt, um eine möglichst gute Abdichtung zu erhalten.

Beim Anbringen der Endverschlüsse an Patent-Bleikabel mit litzenförmigen Leitern unter 100 mm^2 Querschnitt und ohne Prüfdraht wird, mit Bezug auf Fig. 248 und 249, wie folgt verfahren: 155 *mm* vom Ende bindet man das Kabel bei *A* mit Draht ab und befreit dasselbe bis zu dieser Stelle von der oberen Jutelage und dem Bandeisen. Dann wird die freigelegte untere Jutelage, wie oben angegeben, bis auf 40 *mm* von der vorigen Bindestelle entfernt und das bloßgelegte, blankgeschabte Bleirohr, sowie das Isolationsgespinnst, 40 *mm* vom Ende *E* senkrecht zur Kabelachse bei *B* durchschnitten, ohne hierbei den Kupferleiter *BE* zu beschädigen. Nach Entfernung des Bleirohrstückes und des darunter liegenden Isolationsgespinnstes wird das Stück *BE* des Kupferleiters blank geputzt, dann 75 *mm* vom Kabelende das Bleirohr bei *C* ringsherum eingeritzt und endlich das Bleirohrstück *CB* in bekannter Weise entfernt. Hierauf wird die Isolationshülle *J* mit einem Faden umwickelt, der Endverschluss *V* so weit über den Kupferleiter geschoben, dass sein hinterer Rand das Isolationsgespinnst bei *B* berührt, und der Kontakt zwischen dem Kupferleiter und dem Endverschluss durch festes Anziehen der Schrauben *SS* möglichst gut hergestellt. Ueber das so hergerichtete und mit warmflüssiger Tränkmasse begossene Kabelende zieht man nun den Gummischlauch *G*, so dass sein unterer Theil das Jutegespinnst J' umschließt und schnürt, an den Stellen *d*, d^1, d^2, d^3 und d^4, mit seidenbesponnenen Draht fest.

Die Endverschlüsse für Patent-Bleikabel mit litzenförmigen Leiter über 100 mm^2 Querschnitt und ohne Prüfdraht werden in ganz gleicher Weise angebracht, nur sind die angebenen Maße, je nach dem Querschnitt, etwas verschieden. Die Anbringung der Endverschlüsse am Patent-Bleikabel mit litzenförmigen Leiter unter 100 mm^2 Querschnitt und mit Prüfdraht weicht von der bei solchen Kabeln ohne Prüfdraht insofern ab, als dabei auf den Letzteren Rücksicht genommen werden muss. Demzufolge wird das Kabel in 385 *mm* Entfernung vom Ende E^1, Fig. 250 u. 251, abgebunden und, wie bekannt, auf diese Entfernung die unter dem Bandeisen liegende Juteschicht freigelegt, welche dann, ebenfalls bis auf 40 *mm* von der Bindestelle, zu entfernen ist. Nun legt man den Kupferleiter auf 230 *mm* vom Kabelende bloß, indem man das Bleirohr bei *B* sowohl, wie auch zwischen *B* und E^1 stark einritzt und mit einer Zange abhebt, darauf die Isolirhülle abwickelt und bei *B* mit einer Schere abschneidet. Hierbei ist vorsichtig zu verfahren, damit die Isolirhülle des Prüfdrahtes nicht leide. Dann hebt man den

Prüfdraht aus seiner Lage und biegt denselben soweit zurück, dass man den Kupferleiter bei *E*, also 230 *mm* vom Ende, senkrecht zu seiner Achse durchschneiden kann. Bis nach dem Aufziehen des Gummischlauches *G* verfährt man nun in ganz gleicher Weise, wie bei den Kabeln ohne Prüfdraht, nur wird selbstverständlich der Prüfdraht *P* (nachdem er zwischen *BB* und *E* in seine frühere Lage gebracht erscheint) beim Aufschieben des Endverschlusses *V*, durch die Bohrung des Letzteren gezogen. Ist die Arbeit soweit gediehen, dann bindet man das Gespinnst des Prüfdrahtes etwa 60 *mm* vom Ende ab, legt den Kupferleiter auf diese Entfernung frei und reinigt denselben. Nachdem man den Prüfdraht in warmflüssige Tränkmasse getaucht hat, schiebt man das Gummifaçonstück G^1 soweit über, dass ein erweiterter Ansatz DB^1 den Messingendverschluss etwa auf 31 *mm* Länge umschließt. Mit dem Abbinden des Gummifaçonstückes G^1 an den Stellen d^5 bis d^8 mittelst seidenbesponnenen Kupferdrahtes ist der Endverschluss fertig gestellt.

Für das Anbringen der Endverschlüsse an Kabeln mit litzenförmigen Leitern von über 100 mm^2 Querschnitt und mit Prüfdrähten lässt sich eine Anleitung mit allgemein giltigen Zahlen nicht geben, weil sich die Abmessungen mit den Querschnitten der Kupferleiter sehr ändern. Die Entfernung der Bindestelle *A*, Fig. 251, vom Ende *E* des Kabels setzt sich aus den folgenden vier Längen zusammen, nämlich aus der Länge *EH'* (d. i. die Entfernung des Hartgummicylinders *H* vom Rande *H'* des verzinnten Messingstückes), der Länge des freiliegenden Isolationsgespinnstes *I*, welche stets 35 Millimeter beträgt, der Länge des Bleimantelstückes *B*, welche dem betreffenden Durchmesser des blanken Bleikabels annähernd gleichgemacht wird und endlich aus der, dem Durchmesser des Kabels gleichen Länge des Stückes *J'* der unteren Jutelage. Ist das Kabel bei *A* mit verzinktem Eisendrahte abgebunden, so wird der Kupferleiter in bekannter Weise freigelegt, der Prüfdraht *P* aus seiner Lage herausgeschoben und so viel als nöthig umgebogen, um den Kupferleiter in entsprechender Länge abschneiden zu können. Diese Länge erhält man durch Abmessung der Entfernung der letzten Schraube *S* vom Rande *H'* des Messingstückes und Zugabe einiger Millimeter. Nachdem der Kupferleiter senkrecht zu seiner Achse durchschnitten ist, bringt man den Prüfdraht in seine ursprüngliche Lage zurück, legt dessen Kupferleiter am Ende auf 15 *mm* Länge frei und biegt das über den Kupferleiter des Kabels hervorragende Ende des Prüfdrahtes so, dass sein freigelegter Kupferleiter genau mit der Kabelachse zusammenfällt, wie dies Fig. 251 veranschaulicht. Hierauf schiebt man den Messingverschluss, nachdem man die Prüfdrahtschraube *S'* und die Kopfschraube *K* ent-

fernt hat, dergestallt auf, dass sein Rand H' die Isolirschicht I berührt. Dann wird der Kontakt zwischen dem Kupferleiter und den Wandungen des Messingstückes durch möglichst scharfes Anziehen der Schrauben S hergestellt, der Gummischlauch G übergezogen und bei d, d^1, d^2 und d^3 in bekannter Weise mit seidenbesponnenem Draht fest abgebunden. Schließlich werden, nachdem man sich überzeugte, dass der Prüfdraht seine richtige Lage eingenommen hat, die Prüfdrahtschraube S^4 und die Kopfschraube K wieder eingesetzt und S' behufs Erzielung eines guten Kontaktes mit dem Prüfdraht fest eingeschraubt.

Um die Enden der Kabel vor der Einwirkung der Feuchtigkeit zu schützen, empfiehlt sich folgendes Verfahren durch seine Einfachheit; dasselbe kann in vielen Fällen mit Vortheil angewendet werden. Dieses Verfahren besteht darin, dass man mit einem eigenthümlichen, rasch trocknenden, sehr biegsamen Lack das entsprechend zubereitete Kabelende einigemale bestreicht, wobei zwischen jedem Anstrich die zum Trocknen nöthige Zeit innezuhalten ist. Dieses Verfahren findet stets Verwendung, wenn man es mit einem massiven Leiter zu thun hat und da, wo es möglich ist, dem Lack die nöthige Zeit zum Trocknen zu lassen. Der Lack wird mit dem erforderlichen Material und detaillirter Gebrauchsanweisung von der Firma abgegeben.

Die im ersten, die Fabrikation der Bleikabel behandelnden Theile dieser Mittheilungen (§. 139) erwähnten Vertheilungs-, bezw. Abzweigungskasten finden hauptsächlich bei großen Centralanlagen Anwendung; ihre Besprechung wird weiterhin folgen.

Zu den Patent-Blei-Doppelkabeln übergehend, ist zuerst das Anbringen der Endverschlüsse an Kabeln ohne Prüfdraht zu erläutern und zu bemerken, dass die Eingangs gemachten Bemerkungen über die Verlegung und Bezeichnung der Kabel auch für die Patent-Blei-Doppelkabel gelten. Da aber bei diesen letzteren eine Unterscheidung zwischen positiven und negativen Kabeln nicht stattzufinden hat, sind die Zeichen + und — auf den Marken unnöthig, so dass diese Marken nicht als Polaritätszeichen, sondern nur als Kabelzeichen Geltung behalten. Auf diesen Kabelzeichen wird entweder nur der Gesammtquerschnitt, z. B. 300, oder auch zugleich der Querschnitt der Einzelleitungen, z. B. $300 = (2 \times 150)$ angegeben. Die letztere Bezeichnungsweise empfiehlt sich da, wo neben Doppelkabeln auch einfache oder Dreileiterkabel zur Anwendung kommen.

Mit Rücksicht auf das erforderliche freie Ende $a\,b$, Fig. 252, des inneren Leiters wird das (vorläufig noch gleichmäßig eingehüllt zu denkende) Kabel in ensprechender Entfernung vom Ende b bis zur Stelle c von den, das Kabel bedeckenden Umhüllungen, mit Ausschluss der

unteren Juteschicht befreit. Diese wird bei *d* (40 *mm* von *c*) abgebunden, durch Entfernen des Theiles *d b* derselben die Bleiumhüllung freigelegt und letztere durch Schaben gereinigt. Durch Beseitigung des Bleimantels und der äußeren Isolirschicht, legt man alsdann den äußeren Leiter *L'* von *e* bis *b* bloß, worauf man die Drähte bei *f* einfeilt und durch Umbiegen abbricht. Nun durchschneidet man bei *e* die innere Isolirschicht, legt durch Entfernen derselben den inneren Leiter *L* frei und putzt denselben blank. Die Länge *a f* des blankgeputzten inneren Leiters *L* ist gleich dessen frei bleibendem Ende *a b* mehr dem festen Theile *b f* des Gummifaçonstückes *E*, welches fest an den Leiter anliegt. Hierauf wird der äußere Leiter *L'* von *f* bis *e* durch das Entfernen des Bleies und der inneren Isolirschicht bloßgelegt. Die Länge des Stückes *e f* bestimmt sich durch die Länge der Klemmenbacken *B* und *B'* und die Länge des Stückes *f g*, welche letztere gleich ist dem Unterschiede zwischen dem röhrenförmigen Ansatze der vorderen Klemmenbacke *B'* und dem mittleren Theile des Gummifaçonstückes *E*. Behufs sorgfältiger Reinigung müssen die einzelnen Drähte des äußeren Leiters emporgehoben, alsdann aber in ihre ursprüngliche Lage zurück gebracht und bei *e* provisorisch mit einem Drahte umbunden werden.

Sodann entfernt man das 30 *mm* lange Bleirohrstück *e h* und umwickelt das freigelegte Isolirgespinnst derartig mit Isolirband, dass der betreffende Theil mit dem Bleimantel gleichen Durchmesser erhält. Nachdem die Länge *c d* mit warmer Isolirmasse übergossen worden ist, wird der Gummischlauch *G* mit seinem überschlagenen Theile *h i* von *a* aus über das präparirte Kabelende geschoben, bis sein hinteres Ende bei *c* anstößt. Hierbei dreht man den Schlauch in der Drallrichtung des Isolirgespinnstes, in welcher Richtung auch die Umwickelung des Isolirbandes erfolgt. Nunmehr wird die hintere Klemmbacke *B* so aufgesetzt, dass der Rand ihres Rohres bei *e* anstößt, hierauf der umgeschlagene Theil des Gummischlauches *G* über den Kabeltheil *h i* gezogen und an den in der Abbildung sichtbaren Stellen mit besponnenem Kupferdraht fest umschnürt. Selbstverständlich ist die beim Begießen des Kabeltheiles *h c* etwa auf die blanken Kupferdrähte gekommene Isolirmasse, vor dem Aufschieben der Klemmbacke, sorgfältig zu entfernen.

Ist das Kabelende in der angegebenen Weise hergerichtet, so werden die Drähte des äußeren Leiters an der Stirnseite der aufgesetzten Klemmbacke *B* radial emporgehoben, so dass dieselben an der Klemmbacke anliegen und derartig vertheilt, dass die Schraubenlöcher der Klemmbacke frei bleiben. Sind die über den Rand der letzteren hinaus-

ragenden Drahtenden entsprechend gekürzt, dann wird die zweite Klemmbacke *B'* aufgeschoben, nachdem zuvor die innere Isolirgespinnsthülle mit einem trockenen Faden oder nöthigenfalls mit Isolirband umwickelt und mit Isolirmasse begossen worden ist, damit die Klemmbacke fest aufsitzt. Wenn hierauf die beiden Klemmbacken mittels der Schrauben *s* fest zusammengezogen worden sind, so wird das über das Rohr der vorderen Klemmbacke *B'* hervorragende Isolirgespinnst mit frisch in die Isolirmasse eingetauchtem Isolirband bis zu dem gleichen Durchmesser mit dem des Klemmbackenrohres umwickelt, alsdann das Gummifaçonstück *E* in bekannter Weise aufgeschoben und befestigt. Schließlich wird noch ein Stück Gummischlauch *G'* über die Klemmbacken *B B'* gezogen und durch umsponnenen Kupferdraht festgeschnürt.

Das beim Anbringen der Endverschlüsse an Patent-Blei-Doppelkabeln mit Prüfdraht einzuschlagende Verfahren ergibt sich aus einer Vereinigung dessen, was bezüglich des Anbringens der Endverschlüsse an einfache Patent-Bleikabel mit Prüfdraht bei Querschnitten über 100 mm^2, sowie an Patent-Blei Doppelkabel ohne Prüfdraht gesagt worden ist, so dass die Ausführung bei genauer Betrachtung der zugehörigen Abbildungen, Fig. 251 und 252, ohne weiteres klar ist.

Die Verbindung der Patent-Blei-Doppelkabel durch gerade Muffen ist durch die Fig. 256 bis 259 dargestellt; die Beschreibung ihrer Herstellung erfolgt nachstehend:

Die zu verbindenden beiden Kabel werden an ihren Enden auf eine Länge, welche etwas geringer ist als die Hälfte der Muffenlänge, von der, das Blei bedeckenden Umhüllung befreit, so dass letztere bis zum inneren Rande des Muffenhalses reicht. An der Stelle, wo die Umhüllung endet, erfolgt ein Bestreichen mit Füllmasse und ein Bewickeln mit Naturgummi, wie dies bei der Herrichtung der geraden Muffe für einfache Kabel geschildert ist. An den Eintrittstellen *A* der Kabel in die Muffe sind letztere soweit, als zur Erreichung einer guten Abdichtung erforderlich ist, mit getheerter Jute zu bewickeln. Nach erfolgtem Bestreichen des freiliegenden Bleimantels *B* mit entwässertem Steinkohlentheer und Umwickelung desselben an einer Stelle mit einem Gummistreifen wird der innere Leiter in einer, der halben Länge der Klemmen *aa'* entsprechenden Entfernung vom Ende freigelegt und gesäubert. Ist ein Prüfdraht vorhanden, so biegt man denselben beim Reinigen des Leiters zurück und bringt ihn dann wieder in seine frühere Lage. Hierauf legt man den äußeren Leiter, etwa in der Mitte zwischen der Klemme und dem Ende der äußeren Umhüllung, frei und putzt dessen Drähte blank. Ferner wird der Theil *J* der äußeren Isolirschicht, in etwa 30 *mm* Länge, vom Blei befreit, mit Isolirband bis

zur Dicke des Bleirohres *B* umwickelt, das umwickelte Band fest gebunden und mit Isolirmasse begossen. In neuerer Zeit hat man wohl das Bewickeln mit Isolirband fortgelassen. Alsdann schiebt man den Flansch *c* bis an den Rand der Isolirschicht, worauf man die Drähte des äußeren Leiters an der äußeren Fläche des Flansches radial emporbiegt, Fig. 259, und in entsprechender Länge abschneidet. Nunmehr umwickelt man die, aus dem Flansch hervorstehende Isolirschicht *i* mit

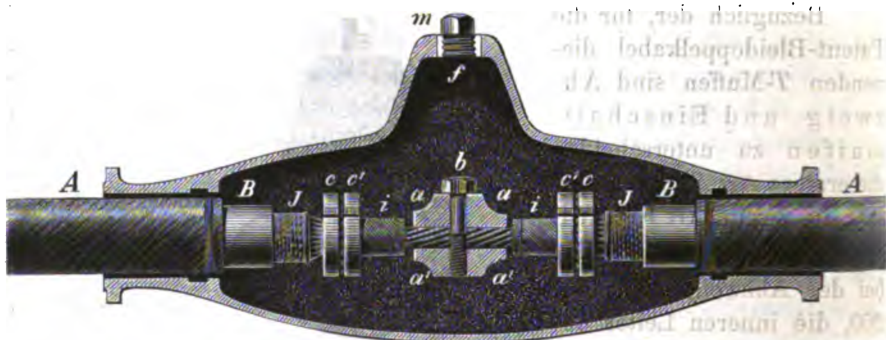


Fig. 256.



Fig. 257.

Isolirband, so dass der zweite Flansch *c'* sich noch mit Leichtigkeit darüber schieben lässt, begießt den so umwickelten Theil mit Isolirmasse und schiebt den zweiten Flansch *c'* darüber. Wenn beide Kabelenden in der angegebenen Weise hergerichtet sind, werden dieselben in die untere Muffenhälfte derartig eingelegt, dass die Enden der beiden inneren Leiter zusammenstoßen, worauf man diese Enden durch Umlegen und Zusammenziehen der Klemmenhälften *aa'* mittelst der Schraube *b* fest verbindet. Hierauf vereinigt man die beiderseitigen Flansche *cc'*, deren große Achse horizontal liegen muss, Fig. 258, durch Einlegen und Festschrauben der beiden Stege *e*. Den etwa vorhandenen Prüf-

draht des äußeren Leiters zieht man durch den vorderen Flansch und stellt die Verbindung der Prüfdrähte der Leiter beider Kabel in bekannter Weise her.

Nachdem dies alles in der vorgeschriebenen Weise ausgeführt worden ist, wird die Muffe durch Auflegen der anderen Hälfte geschlossen, der innere leere Raum durch das Schraubenloch *m* mit Füllmasse ausgegossen und das Loch durch die Schraube ebenfalls geschlossen.



Fig. 258.

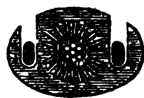


Fig. 259.

Bezüglich der, für die Patent-Bleidoppelkabel dienenden *T*-Muffen sind Abzweig- und Einschaltmuffen zu unterscheiden die erstere Art illustrirt Fig. 260, die zweite Art Fig. 261.

Es ist ersichtlich, dass bei der Abzweigmuffe, Fig. 260, die inneren Leiter des stromzuführenden Kabels *H* und des, den Strom abzweigenden Kabels *N* entsprechend mit einander durch eine Klemme *K*, mittels der Schraube *S*, die Enden der äußeren Leiter dagegen, welche mit den Flanschen Kontakt bilden, durch die gekrümmten Bügel *A* verbunden sind. Bei der Einschaltmuffe, Fig. 261, ist der äußere Leiter des Hauptkabels einerseits mit dem inneren, andererseits mit dem äußeren Leiter des Nebenkabels verbunden.

Nach diesen Hinweisen dürfte die Ausführung der einen oder anderen Schaltung keine Schwierigkeiten bieten, und es ist nur noch zu bemerken, dass die Abmessungen der, in die Muffe einzuführenden Kabelenden wesentlich durch die Abmessung der Bügel *A* bestimmt werden. Man hat zuerst das stromzuführende Kabel herzurichten, worauf man zur Herrichtung des Abzweig-, bezw. Einschaltkabels übergeht. Die gelegentliche Benützung dieser beiden Schaltungsweisen ist an sich klar.

In Fig. 262 ist eine gerade Muffe für ein koncentrisches Dreileiterkabel abgebildet. Nach dem, was über die Herrichtung dieser Muffengattung für Patent-Bleidoppelkabel gesagt wurde, dürfte ein näheres Eingehen auf das Montiren der Muffe für das Dreileiterkabel überflüssig sein.

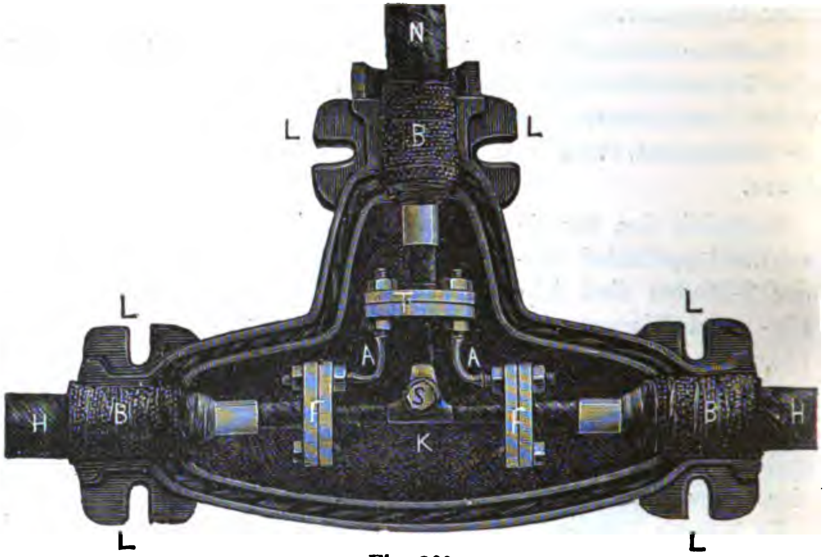


Fig. 260.

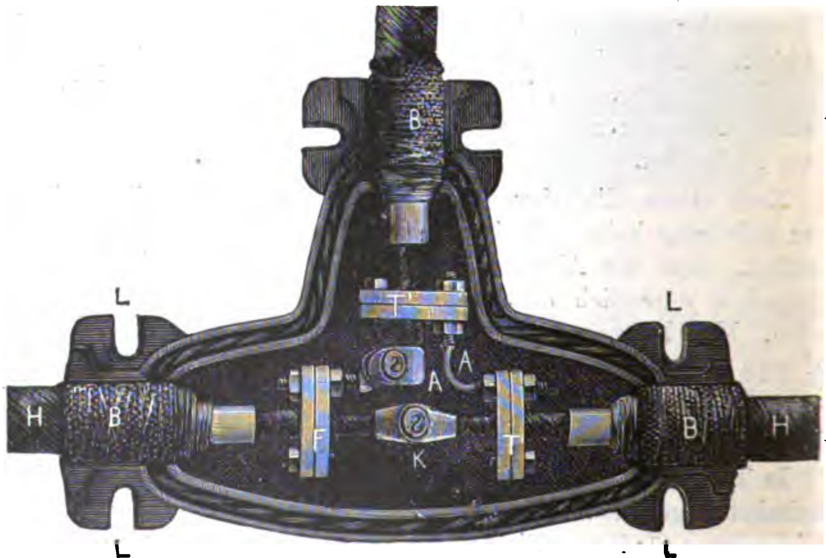


Fig. 261.

Die Patent-Dreileiterkabel, von denen Fig. 263 einen Querschnitt zeigt, sind, wie wir hier ergänzend bemerken, nach demselben Princip wie die Patent-Doppelkabel konstruirt. Ihre Verwendung bei den Beleuchtungsanlagen nach dem Dreileitersystem fand schon vielfach statt. Die Vorzüge, welche für die Doppelkabel genannt worden sind, treten auch hier, nur in erhöhtem Maße, auf, und wenn auch in Centralbeleuchtungsanlagen, welche auf das Dreileitersystem basirt sind, sehr wohl

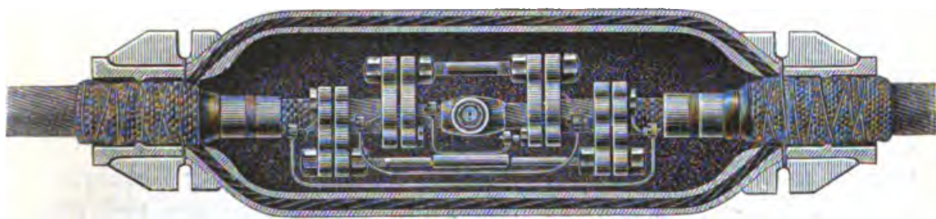


Fig. 262.

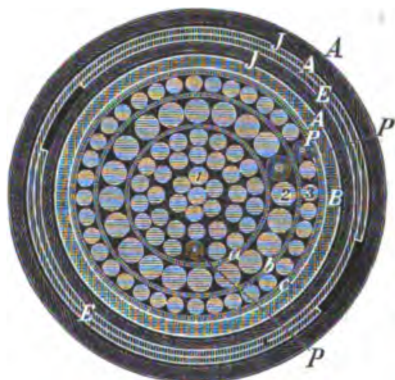


Fig. 263.

einfache und auch Patent-Bleidoppelkabel in Verbindung mit einfachen Kabeln verwendet werden können, wie die Erfahrung gelehrt hat, so ist es doch unleugbar, dass durch die Anwendung der koncentrischen Dreileiterkabel eine wesentliche Vereinfachung und damit eine größere Uebersichtlichkeit des Kabelnetzes erzielt wird. Die Abzweigung von Stromtheilen erfolgt bei den Dreileiterkabeln nicht durch *T*-Muffen, sondern durch Abzweigkasten, Kasten mit Isolirfüllung, die später beschrieben werden.

In der obenstehenden Fig. 263, welche ein eisenbandarmirtes Dreileiterkabel von 720 mm^2 Gesammtquerschnitt (*KBA 720* [3 × 240]) in natürlicher Größe darstellt, ist *1* der innere, *2* der mittlere, *3* der äußere Kupferleiter; *a*, *b* und *c* sind die denselben entsprechenden Isolirschichten, *P* die Prüfdrähte. *B* stellt den Bleimantel, *J* die Jutelagen, welche mit den Asphaltschichten *A* die Bandeisenlagen *E* umgeben, dar.

Einige Bemerkungen über die Kabelnetze für größere Lichtanlagen sind hier anzuschließen. Vor allem ist die Oertlichkeit und die zu

liefernde Lichtmenge ins Auge zu fassen. Von dem Standort der Maschinen aus wird, mit Rücksicht auf die Beschaffenheit der weiteren Oertlichkeiten, das Kabelnetz entworfen. In einem solchen Kabelnetz sind zu unterscheiden:

1. Hauptkabel.
2. Vertheilungskabel.
3. Anschlusskabel.

Hauptkabel sind diejenigen Kabel, welche den elektrischen Strom von den Maschinen bis zu den gewissen Punkten des Kabelnetzes leiten, von denen aus alsdann derselbe nach den verschiedenen Bedarfsrichtungen vertheilt wird. Die Vertheilungskabel dienen zur Fortführung des Stromes von den Vertheilungspunkten, während die Anschlusskabel den Strom von den Vertheilungskabeln entnehmen und den einzelnen Lichtanlagen zuführen. Da der Kabelquerschnitt von der nach Normalkerzen gemessenen Lichtmenge und Entfernung zwischen Lichtquelle und Verwendungsstelle abhängig ist, derselbe aber aus technischen Gründen ein gewisses Maß nicht überschreiten kann, so ergibt sich einerseits die Nothwendigkeit, bei Wahl der Centralstation darauf bedacht zu sein, dieselben allen zu beleuchtenden Punkten möglichst nahe zu legen, und andrerseits das Kabelnetz in entsprechend viele Lichtkreise zu theilen. Je nach Umständen kann ein Hauptkabel zur Speisung von einem Lichtkreise oder von mehreren Lichtkreisen dienen.

Als weitere Aufgabe liegt die Feststellung der Punkte vor, von denen aus die Abzweigungen stattfinden sollen und es sind diese Punkte, sowie der Ort der Centralstation auf einem Plane zu verzeichnen, wobei unter den darauf anzugebenden Kabel-Querschnitten diejenigen der etwa vorkommenden einfachen Kabel mit dem Polaritätszeichen + oder —, entsprechend der in ihnen vorhandenen Stromrichtung erkenntlich zu machen sind. Auch erscheint es als zweckmäßig, die einzelnen Abzweigungspunkte von vornherein zu bezeichnen, wozu wohl am besten die laufende Numerirung dient. Sind die Abzweigungspunkte und deren Entfernungen von der Centralstation, sowie der sich hieraus ergebende Kabelbedarf nach Querschnitt und Länge festgestellt, so ist auch noch der Bedarf der sogenannten Garniturtheile zu bestimmen. Zu diesen Garniturtheilen gehören:

1. Gerade Muffen (— Muffen).
2. Abzweigungsmuffen (⊥ Muffen).
3. Kreuzmuffen (+ Muffen).
4. Abzweigungskasten.
5. Vertheilungskasten.

Wo und wie die, unter 1 bis 3 angeführten Theile zur Verwendung kommen, ist bereits im Vorstehenden angegeben worden, so dass nur noch die Beschreibung der Einrichtung und der Benutzung der Abzweigungs- und Vertheilungskasten erübrigt.

Die von Siemens & Halske konstruirten Vertheilungskasten sind von zweierlei Art, nämlich:

I. Vertheilungskasten mit Luftisolation.

II. Vertheilungskasten mit Isolirfüllung.

Eine weitere Unterscheidung wird durch die, in die Kasten einzuführenden Kabel bedingt, nämlich:

I A Vertheilungskasten mit Luftisolation für einfache Kabel.

I B Vertheilungskasten mit Luftisolation für Doppelkabel.

I C Vertheilungskasten mit Luftisolation für Dreileiterkabel.

II A Vertheilungskasten mit Isolirfüllung für einfache Kabel.

II B Vertheilungskasten mit Isolirfüllung für Doppelkabel.

II C Vertheilungskasten mit Isolirfüllung für Dreileiterkabel.

Bezüglich der Abtheilungen *I A* und *II A* sind noch zu unterscheiden:

$I\ A^1$ und $II\ A^2$ einpolige Kasten für einfache Kabel.

$I\ A^2$ und $II\ A^2$ zweipolige Kasten für einfache Kabel.

Die Vertheilungskasten mit Luftisolation sind bisher nur für einfache Kabel verwendet worden und haben sich beispielsweise bei den Berliner Centralanlagen vorzüglich bewährt, während für Doppel- und Dreileiterkabel, mit gleichem Erfolg, Kasten mit Isolirfüllung Verwendung fanden.

Als Isolirfüllung hat bei den Vertheilungskasten theils vollständig wasserfreier, schwedischer Kientheer, theils Isoliröl von sehr hohem specifischem Gewicht Verwendung gefunden. Beide Füllungen ergaben sehr gute Erfolge, doch wird in neuerer Zeit nur das Isoliröl zum Ausgießen der Füllkasten verwendet.

Die Vertheilungskasten mit Luftisolation unterscheiden sich von denen mit Isolirfüllung außer der schon erwähnten, durch deren Bezeichnung ausgedrückten Eigenthümlichkeit, zunächst durch ihre Form, jene sind viereckig, diese rund. Die übrigen Unterschiede ergeben sich aus der folgenden Beschreibung der Kasten.

Die Vertheilungskasten mit Luftisolation, Fig. 264 und 265.

An diesen Kasten, von denen zunächst die zweipoligen, als die älteren in Betracht kommen, sind die folgenden Haupttheile zu unterscheiden:

1. Der eigentliche Kasten A, A_1, A_2, A_3.
2. Die an den Kasten angeschraubten Stutzen *St*.
3. Die Sammelstücke E, E_1.
4. Die Kupferverbindungen *K*.
5. Die Bleisicherungen *B*.
6. Der Brunnenrahmen *C*.
7. Das Fundament *F*.

Der gusseiserne Kasten, von der aus Fig. 264 und 265 ersichtlichen Form, besteht aus dem Untertheile A, A_1, A_2, A_3 und dem mit den Griffen *G*

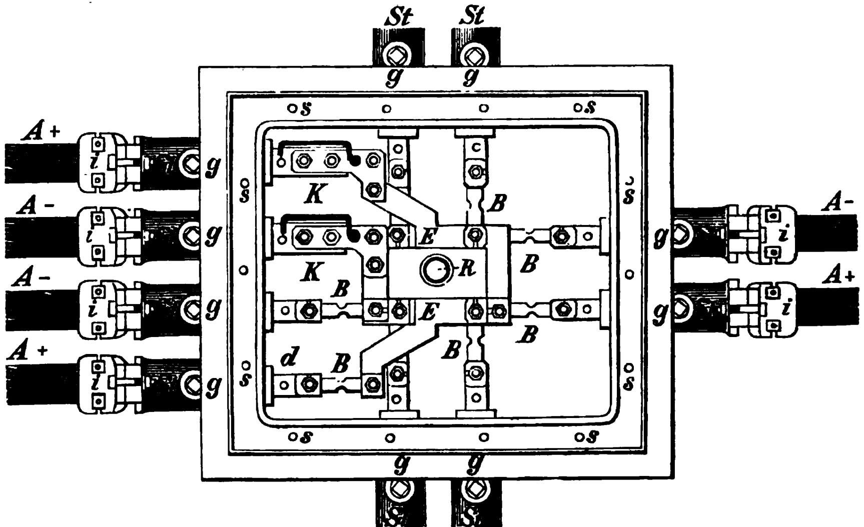


Fig. 264.

versehenen Deckel. Der luftdichte Verschluss zwischen Kasten und Deckel wird durch eine Gummidichtung erzielt, welche auf den mit Schraubenbolzen versehenen Kastenrand aufgelegt ist und gegen welche der Deckel mit Bronzemuttern angezogen wird. Die Größe der Kasten richtet sich nach der Zahl der einzuführenden, bezw. auszuführenden Kabel, welche Zahl, da sich hiernach die Zahl der zum Aufschrauben der Stutzen erforderlichen Oeffnungen mit deren abgedrehten Ansätzen richtet, von vornherein zu bestimmen ist. Benützt man nicht sogleich alle Oeffnungen, so verschließt man die unbenutzten durch aufgeschraubte, mit Gummiplatten abgedichtete Blindflansche. Bei der Vertheilung der Oeffnungen auf die vier Wände, ist Rücksicht auf die, den Kabeln zu gebende Richtung zu nehmen und darauf zu achten, dass

stets zwei Oeffnungen (für das + und für das — Kabel) übereinander und die zu einer Polarität gehörigen Oeffnungen in eine Horizontalebene zu liegen kommen. Seitlich von dem Rohre *R* sind vier Erhöhungen auf den Kastenboden angegossen, auf welchen die Stützen der Sammelstücke *H* und H^1 aufgeschraubt werden.

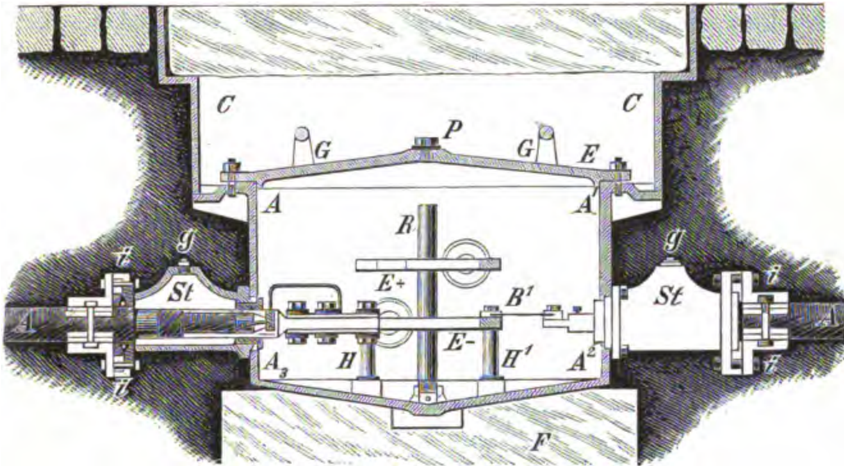


Fig. 265.

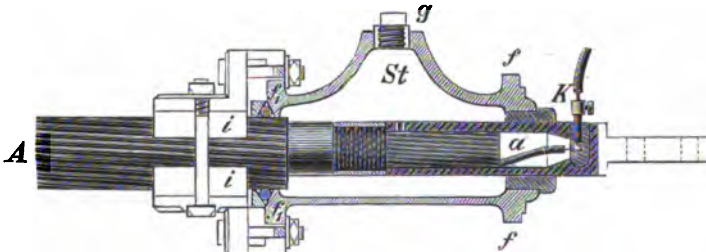


Fig. 266.

Die Stutzen *St*, Fig. 266, sind gusseiserne Büchsen, welche an dem, von der Kastenwand abgewandten Ende einen länglichen, oben und unten geschlitzten Flansch *f* haben und an der nach oben gerichteten Fläche mit einem, durch Schraubenstöpsel verschließbaren Einguss *g* versehen sind. Diese Stutzen werden, entsprechend dem Durchmesser der durchzuführenden Kabel, ausgebohrt und an der Kastenseite mit einem Hartgummieinsatz versehen, welcher genau nach dem durch-

zuführenden Endverschluss ausgebohrt und so lang ist, dass er durch die Kastenwand hindurchgeht. An dem, mit geschlitztem Flansch versehenen Ende werden die Schellen *i* durch Schrauben befestigt; dieselben dienen zum Festklemmen des Kabels. Um eine Dichtung zwischen Stutzen und Kasten zu erhalten, ist an dem betreffenden Ende des Stutzens ein abgedrehter Ansatz angebracht, welcher mittels einer aufgelegten Gummiplatte, durch Anziehen der vier Schrauben am Kasten, abgedichtet wird. Sobald das mit dem Endverschluss versehene Kabel in den Stutzen eingeführt und mittels der Schellen *i* befestigt ist, wird der Stutzen durch die Oeffnung *g* mit Füllmasse ausgegossen. Bei Einführung der Kabel in den Kasten ist darauf zu achten, dass die den Prüfdraht haltende Klemmschraube *K* des Endverschlusses nach oben und die angefräßte Fläche des letzteren genau horizontal zu liegen kommt. Die Endverschlüsse für Vertheilungskasten unterscheiden sich von den für Kabel mit litzenförmigen, im Kupferquerschnitt über 100 mm^2 haltenden und mit Prüfdraht versehenen, Leitern bestimmten Endverschlüssen nur dadurch, dass sie etwas länger als diese sind und vorn einen Ansatz haben, welcher sich an den Hartgummiring anlegt, wodurch die Lage der Endverschlüsse zu den Sammelstücken genau bestimmt wird; das letztere ist von großer Wichtigkeit, weil die Entfernung zwischen der Klemmschraube des Endverschlusses und dem Sammelstück der Länge des dazwischen zu legenden Kupferverbindungsstückes, beziehentlich der Länge der Bleisicherung entsprechen muss.

Die aus verzinnten Kupferschienen bestehenden Sammelstücke $E+$ und $E-$ sind je nach Zahl und Lage der einzuführenden Kabel geformt und haben entsprechend den Querschnitten der betreffenden, Kabel verschiedene Querschnitte. Für die positiven und negativen Kabel ist je ein solches Sammelstück vorhanden; dieselben sind durch isolirende Säulchen von einander getrennt und werden durch ebensolche Säulchen getragen, welche auf den durch eiserne Schienen verbundenen, oben erwähnten Ansätzen des Kastens ruhen. Mit dem einen Sammelstück werden sämmtliche positive, mit dem anderen Sammelstück sämmtliche negative Kabel verbunden und zwar erfolgt die Verbindung der Hauptkabel mittels Kupferstücken, die Verbindung der Vertheilungskabel mittels Bleisicherungen in der Weise, dass das eine Ende der Kupferverbindungsstücke beziehungsweise Bleisicherungen mit der Klemmschraube des Endverschlusses des betreffenden Kabels, das andere Ende durch eine Kopfschraube auf dem Sammelstück befestigt ist.

Die Kupferverbindungen dienen — wie bereits bemerkt wurde — zur Vereinigung der Hauptkabel mit dem Sammelstück; dieselben

werden mit rechteckigem, der Stärke des zu leitenden Stromes entsprechenden Querschnitt hergestellt und bestehen aus vergoldetem (neuerdings auch verzinntem) Kupfer. Ihre Befestigung, sowohl an dem Endverschlusse, als auch an dem Sammelstück besorgen Schrauben. Jedes Kupferverbindungsstück ist mit einer Messingschraube versehen, mittels welcher der Prüfdraht mit dem Sammelstück in leitende Verbindung gebracht wird.

Die Bleisicherungen bestehen aus Bleiblechstreifen von geeigneter Länge und Dicke, die an jedem ihrer Enden in einen vergoldeten Kupferkopf eingelöthet sind, welcher mit einem, zum Einschieben unter die Klemmschrauben dienenden Ausschnitt versehen ist. Die Breite und Stärke der Bleistreifen wird nach dem durchgehenden elektrischen Strome bemessen. Auf halber Länge des Streifens erscheint sein Querschnitt durch seitliche Einschnitte soweit vermindert, dass sich die Erwärmung bei einer gewissen Stromstärke bis zum Schmelzpunkte des Bleies steigert, der Bleistreifen schmilzt und so die Kabel u. s. w. vor Schaden bewahrt bleiben.

Der Brunnenrahmen besteht aus dem eigentlichen, auf den Kasten aufgesetzten Rahmen und dessen Deckel. Der Rahmen ist aus Gusseisen hergestellt und ruht auf dem, durch Rippen getragenen Kastenrande, während der Deckel entweder aus Gusseisen oder aus einer Steinplatte besteht. Damit das, durch den Deckel tretende Wasser abfließen kann, erscheint der Kastenrand an verschiedenen Stellen durchbohrt. Zur gehörigen Auflage des Deckels ist der Rahmen oben entsprechend ausgearbeitet.

Das Fundament wird dem Kasten nach Form, Größe und Lage angepasst und aus Ziegelmauerwerk hergestellt.

Die Verwendungsweise der Kasten ist die folgende:

An dem Orte der Aufstellung gräbt man eine entsprechend tiefe und weite Vertiefung aus, weshalb man die Stelle in den städtischen Straßen so zu wählen hat, dass man nicht auf vorhandene Gas- oder Wasserrohre oder andere Hindernisse stößt. In der Mitte der hergestellten Vertiefung wird das Fundament eingemauert; dasselbe muss so eingerichtet sein, dass die Kabel möglichst winkelrecht nach den betreffenden Seitenwänden des Kastens gehen und daher bei runden Kasten gegen deren Mittelpunkt gerichtet sind.

Da die Ausführung der Fundamentirung jedenfalls zeitraubend ist, so hat man diese Arbeit rechtzeitig in Angriff zu nehmen, damit die Aufstellung des Kastens vor der Verlegung der Kabel bis an dessen Aufstellungsort beendet erscheint.

Bei der Einführung der Kabel in den Kasten muss man darauf sehen, dass dieselben eine richtige Länge haben d. h. dass ihre, mit Endverschlüssen versehenen Enden genau den erforderlichen Abstand von den Sammelstücken erhalten, um mit diesen durch die Kupferverbindungsstücke bezw. Bleisicherungen verbunden werden zu können. Die eigentliche Montage der Kasten besteht zunächst in der Herstellung der Endverschlüsse der Kabel. Hierauf führt man die Enden in die Stutzen ein und befestigt dieselben an letzteren mittels der Schellen.

Diese Arbeit wird dadurch erleichtert, dass man die Stutzen vom Kasten losschraubt und nach deren Anbringen an den Kabelenden wieder am Kasten befestigt. Hat man sich überzeugt, dass die Kabelenden die richtige Lage haben, so gießt man den Stutzen mit Füllmasse aus. Zweckmäßig ist es, mit der Einführung derjenigen Kabel zu beginnen, welche mit dem unteren Sammelstück verbunden werden sollen.

Die zu einem zweipoligen Kasten, Fig. 264 und 265, gehörigen Stutzen, Endverschlüsse und Sammelstücke sind von der Fabrik aus mit dem betreffenden Polaritätszeichen versehen; an den Stutzen, sowie an den Verbindungsstücken ist auch noch der Kupferquerschnitt des betreffenden Kabels vermerkt. Da auch die Kabel entsprechende Bezeichnungen (durch Polaritätszeichen) erhalten, so unterliegt die richtige Einführung derselben keiner Schwierigkeit. Wenn die sämmtlichen Kabelenden in den Kasten eingeführt, die Stutzen vergossen, die Eingussöffnungen mit den Schraubenstöpseln verschlossen und die Stutzen am Kasten (eventuell auch die Blindflansche) luftdicht verschraubt worden sind, so verbindet man die Endverschlüsse der Kabel mit den entsprechenden Sammelstücken durch die Kupferverbindungsstücke bezw. Bleisicherungen, verschraubt den Deckel luftdicht mit dem Kasten und legt den Deckel des Brunnenrahmens auf. Ist man genöthigt, die Montirung des Kastens bei feuchtem Wetter vorzunehmen, so empfiehlt es sich, ein Gefäß mit Chlorcalcium in den Kasten zu stellen, damit die Feuchtigkeit der in letzterem eingeschlossenen Luft von dem Salz aufgesogen wird.

Die einpoligen Vertheilungskasten unterscheiden sich von den zweipoligen dadurch, dass sie nur ein Sammelstück haben, da sie — wie dies die Benennung andeutet — zur Aufnahme von Kabeln gleicher Polarität bestimmt sind. Die Benutzung der einpoligen Kasten, an Stelle der zweipoligen, kann durch gewisse Verhältnisse, wie solche z. B. bei der Berliner Centrale vorlagen, bedingt sein. Eine eingehende Beschreibung der einpoligen Kasten ist nicht erforderlich, da dieselben mit der Einrichtung der zweipoligen dem Princip nach übereinstimmen. Werden einfache Patent-Bleikabel zu Beleuchtungsanlagen mit dem

Dreileitersystem verwendet, wie bei der Centrale in Darmstadt, so sind dreipolige Kasten erforderlich.

Die Kasten mit Luftisolation für Patent-Bleidoppelkabel und Dreileiterkabel sind bisher noch nicht zur Anwendung gekommen.

Die Kasten mit Isolirfüllung, gleichviel für welches Kabelsystem sie bestimmt sind, haben eine runde Form und die Stutzen, welche bei den Kasten mit Luftisolation selbstständige Theile bilden, sind bei diesen an die flach cylindrischen Kasten angegossen. Charakteristisch ist für die Kästen mit Isolirfüllung, dass die Kabelenden ohne Endverschlüsse in dieselben eingeführt werden. Letztere erscheinen hier entbehrlich, weil die Kabelenden durch das sie umgebende Isoliröl vor dem Zutritt der Feuchtigkeit geschützt sind.

Bemerkt sei weiters, dass auch Kabel verschiedener Systeme in ein und denselben Kasten eingeführt werden können. Alle diese Aenderungen beschränken sich indessen nur auf die Zahl der Stutzen und die Anordnung der Sammelstücke, wesentlich sind sie alle gleich.

Die Abzweigkästen für Patent-Bleidoppelkabel und Patent-Dreileiterkabel sowie die Vertheilungskästen für Patent-Bleidoppelkabel und Patent-Dreileiterkabel von Siemens & Halske haben eine ähnliche Einrichtung wie die Abzweig- oder Hausanschlusskasten für Patent-Bleikabel.

141. Berechnung der Leitungen.

Bei der Berechnung der Leitungen setzt man die Länge (Hin- und Rückleitung) derselben, sowie die Stromstärke als bekannt voraus. Während man die Leitungslänge direkt abmisst oder indirekt sorgfältigst ausgeführten Leitungsplänen entnimmt, bestimmt man die Stromstärke aus der Anzahl der eingeschalteten Stromabnehmer (Glüh-, Bogenlampen, Elektromotoren u. s. w.). Die Stromstärken einiger Glühlampen sind auf Seite 107 angegeben; dieselben verhalten sich annähernd proportional mit der Anzahl der Normalkerzen. Eine Glühlampe zu 16 *NK* verbraucht etwa 0·5, eine solche zu 30 *NK* rund 1 Ampère. Da bei den meisten Anlagen die Stromabnahme mit der Zeitdauer des Bestandes der Anlage wächst, empfiehlt es sich, für die Glühlampen zu 16 *NK* anstatt 0·5 etwa 0·8 Ampère einzusetzen. Bogenlampen führt man in der Regel mit 10 Ampère in die Rechnung ein. Sind die Lampen sämmtlich hintereinander geschaltet, dann ist die Stromstärke des Leitungsnetzes der Stromstärke der einzelnen Lampen gleich; bei nebeneinander geschalteten Lampen ergibt die Summe der Stromstärken sämmtlicher Lampen die Stromstärke des Leitungsnetzes. Mit der Spannung verhält

es sich umgekehrt. Bei hintereinander geschalteten Lampen muss die Spannung an den Klemmen der Dynamo der Summe der Spannungen der einzelnen Lampen, bei nebeneinander geschalteten Lampen dagegen der Spannung einer einzigen Lampe gleich sein.

Die Berechnung der Leitungen umfasst hauptsächlich:

1. Praktische mechanische Regeln.
2. Praktische elektrische Regeln.
3. Die Berechnung der Leitungen nach dem zulässigen Spannungsverluste.

1. Praktische mechanische Regeln. Zum Schutze der Leitungen vor mechanischer Zerstörung müssen die Durchmesser und die Entfernungen, der Festigkeit derselben entsprechend, gewählt sein. Man wählt

einen massiven Draht von unter 1·5 *mm* Durchmesser bei einer Entfernung unter 10 *m*,

einen massiven Draht über 1·5 *mm* Durchmesser bei einer Entfernung über 10 *m*,

einen massiven Draht über 5 *mm* Durchmesser bei einer Entfernung über 40 *m*. Der Querschnitt der Drahtlitzen soll wenigstens 3 mm^2 messen.

2. Praktische elektrische Regeln. Soll die Leitung nicht warm werden, so muss der Querschnitt derselben genügend groß sein. Die Stromwärme wächst mit der Anzahl der Ampère für 1 mm^2 und mit dem Querschnitt der Leitung. Zusammenhängende Werte von Leitungsquerschnitten, Drahtdurchmessern und zulässigen Beanspruchungen in Ampère gibt die folgende Tabelle an:

Tabelle.

Leitungsquerschnitt in mm^2	Drahtdurchmesser in *mm* rund	Zulässige höchste Beanspruchung in Ampère für 1 mm^2
1 bis 6	1·2 bis 2·8	4
6 bis 18	2·8 bis 4·8	3
18 bis 100	4·8 bis 11·3	2
100 bis 500	11·3 bis 25	1·5
über 500	25	1

Zum Zwecke oberflächlicher Schätzungen der Leitungsquerschnitte für geringe Entfernungen und mittlere Drahtdurchmesser nimmt man häufig für je 2 Ampère einen Kupferquerschnitt von 1 mm^2 an.

Unter dieser Annahme kann man augenblicklich die Leitungsquerschnitte angeben. Fließen beispielsweise durch einen Draht 20 Ampère, so muss der Querschnitt desselben 10 mm^2 (3·6 *mm* Durchmesser) betragen. Bei großen Entfernungen ergibt diese Schätzung einen zu hohen Widerstand der Leitung und somit einen zu hohen Spannungsverlust in derselben.

3. Die Berechnung der Leitungen nach dem zulässigen Spannungsverlust. Je nach der Entfernung darf bei einer Nebeneinanderschaltung von Stromabnehmern der Spannungsverlust bis zu den letzten Lampen aller Gruppen 3 bis 15% betragen. Um das Kupfergewicht möglichst niedrig zu gestalten, wählt man auf langen Strecken, welche hohe Stromstärken führen einen größeren, dagegen auf kurzen Strecken mit niederen Stromstärken einen kleineren Spannungsverlust. Bei Bogenlichtanlagen kann in den Zuleitungen zu den einzelnen Lampen ein größerer Widerstand herrschen, weil jeder Bogenlampe ein sogenannter Beruhigungswiderstand vorgeschaltet werden muss.

Beispiel: Zur Erläuterung einer Leitungsberechnung sei ein Beispiel sammt einer Leitungsskizze, Fig. 267, angeführt. Von einer Dynamo *D* aus, deren Klemmenspannung 100 Volt beträgt, sind 3 Glühlampengruppen mit 0·5 Ampèrelampen nebeneinander geschaltet. Die Anzahl der Lampen in den einzelnen Gruppen und die Entfernungen sind aus derselben Figur ersichtlich.

Mit Bezug auf die Eingangs dieses Paragraphen gemachte Bemerkung legt man der Berechnung bei einer Glühlampe von 0·5 Ampère eine Stromstärke von 0·8 Ampère zugrunde.

Berechnung des Spannungsverlustes auf der Strecke *D a b* des Leitungsnetzes. Da in der Fig. 267 23 Lampen nebeneinander geschaltet sind, beträgt die Gesammtstromstärke

$23 \,.\, 0{\cdot}8 = 18{\cdot}4$ Ampère.

Rechnet man, mit Berücksichtigung der obigen Tabelle, 3 Ampère für 1 mm^2, so ergibt sich damit ein Querschnitt von

$18{\cdot}4 : 3 \doteq 6\, mm^2$ oder ein Durchmesser von rund 3 *mm* auf der Leitungsstrecke *D a b*.

Aus der Gleichung

$w = c \,.\, \frac{l}{q}$ (I. Seite 44) ergibt sich, da für Kupfer $w = 0{\cdot}016$, unter den obigen Annahmen

$$w = 0{\cdot}016 \,.\, \frac{100}{6} \doteq 0{\cdot}27 \text{ Ohm.}$$

Damit folgt der Spannungsverlust aus dem Ohm'schen Gesetze

$V = A \,.\, \Omega = 18{\cdot}4 \,.\, 0{\cdot}27 = 4{\cdot}968 \doteq 5$ Volt Spannungsverlust auf der Strecke von der Dynamo *D* bis zu den Abzweigungspunkten der ersten Lampengruppe *a* und *b*.

In derselben Weise berechnet man die Spannungsverluste auf den übrigen Strecken des Leitungsnetzes.

Berechnung des Spannungsverlustes auf der Strecke von den Abzweigungspunkten *a* und *b* bis zu den Abzweigungspunkten *c* und *d*.

Die durch diese Leitung fließende Stromstärke ergibt sich wieder aus der Lampenzahl. Da jetzt von den 23 Lampen die 6 Lampen der

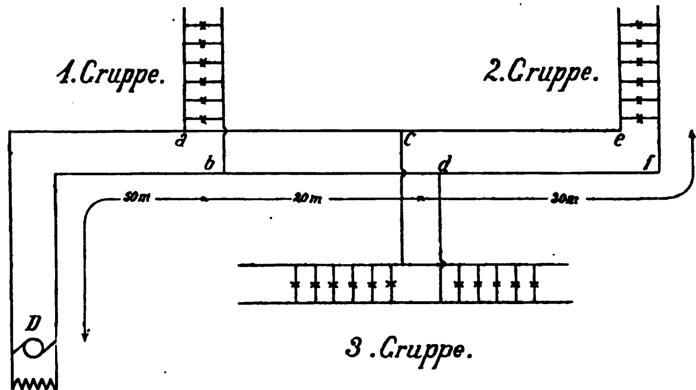


Fig. 267.

ersten Gruppe abzurechnen sind, erübrigen 17 Lampen oder $17 . 0{\cdot}8 =$ $= 13{\cdot}6$ Ampère oder wenn man, der obigen Tabelle entsprechend, 4 Ampère für 1 mm^2 als zulässige Beanspruchung wählt

$13{\cdot}6 : 4 = 3{\cdot}4\ mm^2$ ($2{\cdot}1\ mm$ Durchmesser).

Der Widerstand dieser Leitung

$w = c \,.\, \frac{l}{q} = \frac{0{\cdot}016 \,.\, 40}{3{\cdot}4} \doteq 0{\cdot}2$ Ohm und der Spannungsverlust

$V = A \,.\, \Omega = 13{\cdot}6 \,.\, 0{\cdot}2 = 2{\cdot}72$ Volt Spannungsverlust auf der Strecke zwischen den Punkten *a* und *b* und zwischen den Punkten *c* und *d*.

Berechnung des Spannungsverlustes auf der Strecke von den Abzweigungspunkten *c* und *d* bis zu den Abzweigungspunkten *e* und *f*. Auf dieser Strecke fließt nur mehr der Strom für 6 Lampen, also

$6 . 0{\cdot}8$ Ampère $= 4{\cdot}8$ Ampère.

Rechnet man wieder 4 Ampère für 1 mm^2, so ergeben sich als Leitungsquerschnitt

$4{\cdot}8 : 4 = 1{\cdot}2\ mm^2$ (annähernd $1{\cdot}3\ mm$ Durchmesser).

Diesem Querschnitte entspricht ein Widerstand

$w = c\,.\,\frac{l}{q} = \frac{0{\cdot}016\,.\,60}{1{\cdot}2} = 0{\cdot}8$ Ohm und ein Spannungsverlust

$V = A\,.\,\Omega = 4{\cdot}8\,.\,0{\cdot}8 = 3{\cdot}84$ Volt.

Den Querschnitt der Zuleitungsdrähte zu den einzelnen Lampengruppen wählt man ebenfalls mit Rücksicht auf die letzte Tabelle. Da diese Leitungen in der Regel kurz sind, kann der Widerstand derselben zumeist vernachlässigt werden.

Im Handel sind nur Kupferleitungen von bestimmten Normalquerschnitten vertreten; man wählt in den einzelnen Fällen jenen Querschnitt, welcher einem Normalquerschnitte zunächst liegt, ändert so den Spannungsverlust nur unbedeutend und behält annähernd die gleiche Strombeanspruchung.

Eine übersichtliche Zusammenstellung der Berechnung von Widerständen, Querschnitten, Durchmessern, specifischen Leitungswiderständen und Längen von Leitern geben die folgenden Beispiele.

Beispiel: Wie groß müssen der Widerstand und Querschnitt (Durchmesser) einer Leitung aus Kupfer von 200 *m* Länge sein, wenn dieselbe von 10 Ampère durchflossen wird und der Spannungsverlust 5 Volt betragen soll?

1. Berechnung des Widerstandes der Leitung.

Aus dem Ohm'schen Gesetze

$A = \frac{V}{\Omega}$ folgt

$10 = \frac{5}{\Omega}$, also $\Omega = 0{\cdot}5$ Ohm.

2. Berechnung des Leitungsquerschnittes.

Der Widerstand irgend eines Leiters ergibt sich aus der Formel

$w = c\,.\,\frac{l}{q}$ (I. Seite 44), worin

für Kupfer $c = 0{\cdot}016$ bis $0{\cdot}0166$.

$0{\cdot}5 = 0{\cdot}0166\,.\,\frac{200}{q} = \frac{3{\cdot}32}{q}$ und

$q = \frac{3{\cdot}32}{0{\cdot}5} = 6{\cdot}64\ mm^2$.

3. Berechnung des Durchmessers.

Der Querschnitt $q = \frac{\pi d^2}{4}$, worin

$\pi = 3{\cdot}14$ (Ludolphische Zahl),
$d =$ Durchmesser.

$$6{\cdot}64 = 3{\cdot}14 \,.\, \frac{d^2}{4},$$

$$d^2 = \frac{4 \,.\, 6{\cdot}64}{3{\cdot}14} = 8{\cdot}4,$$

$$d = \sqrt{8{\cdot}4} = 2{\cdot}9 \; mm.$$

4. Berechnung des specifischen Widerstandes.
Derselbe ergibt sich aus der Formel

$$w = c \,.\, \frac{l}{q} \text{ oder } c = \frac{w \,.\, q}{l} = \frac{0{\cdot}5 \,.\, 6{\cdot}64}{200} = 0{\cdot}0166 \text{ Ohm.}$$

Beispiel: Welche Länge muss eine Leitung aus Kupfer von 6·64 mm^2 Querschnitt haben, wenn ihr Widerstand 0·5 Ohm beträgt?

Aehnlich, sowie unter 4., folgt aus der Formel

$$w = c \,.\, \frac{l}{q}, \text{ die Länge } l = \frac{w \,.\, q}{c},$$

$$l = \frac{0{\cdot}5}{0{\cdot}0166} \,.\, 6{\cdot}64 = 200 \text{ meter.}$$

Wendet man zum Ausgleiche der Spannung sogenannte Ausgleichsleitungen an, so dürfen dieselben nur solche Punkte größerer Leitungsabtheilungen verbinden, an welchen beim Leuchten der Lampen der gleiche Spannungsverlust stattfindet. Sind in den einzelnen, durch Ausgleichsleitungen miteinander verbundenen Abtheilungen ungleiche Lampenzahlen eingeschaltet, so fließt Strom aus derjenigen Abtheilung, in welcher sich weniger, in jene in welcher sich mehr Lampen befinden, so zwar bis in den Lampen beider Abtheilungen dieselbe Spannung herrscht. Die Ausgleichsleitung muss mit Rücksicht auf die, in den einzelnen Fällen möglichen Unterschiede in den Lampenzahlen beziehungsweise Stromstärken der einzelnen Abtheilungen bemessen werden.

Ringleitungen, Fig. 161 und Fig. 162, wird der Strom von den Dynamos, welche sich etwa im Mittelpunkte derselben befinden, mittelst sogenannter Speiseleitungen (Feeders) zugeführt; in letztere legt man den größten Spannungsverlust. Die Endpunkte der Speiseleitungen sind mit den Ringleitungen, die gleichzeitig die Ausgleichsleitungen bilden und als solche, wie oben, bemessen werden, verbunden. Von den Ausgleichsleitungen aus finden nur ganz geringe Spannungsverluste statt, so zwar, dass alle Lampen des ganzen Systemes mit nahezu gleicher Spannung brennen.

Bezüglich ausführlicher Berechnung dieser Leitungssysteme, sowie aller Leitungssysteme überhaupt sei auf die Specialwerke dieses Gegen-

standes[1]) verwiesen. Fritsche nimmt die Widerstände der einzelnen Speiseleitungen und die jener Theile der Ausgleichsleitungen zwischen den einzelnen Anschließungspunkten gleich groß an. Derselbe weist nach, dass in seinem Systeme eine Fernspannungsregulirung durch eine entsprechende Regulirung der Maschinenspannung stattfindet, wenn man in den Speiseleitungen mehr als 10 Volt Spannungsverlust einführt.

Carl Hochenegg[2]) hat eine mathematische Formel aufgestellt, welche es gestattet den Leitungsquerschnitt im Vergleiche mit seiner Länge und den maximalen Ampère so zu bestimmen, dass das Kupfergewicht einen geringsten Wert erhält.

Zur Berechnung der Leitungen dienen weiters die Tafeln von Obach, Wahlstroem und A.

Die wichtigsten neuen Methoden der Leitungsberechnung sind:

1. Die Gleichungsmethode von Herzog und Stark.[3])
2. Die graphische Methode von Carl Hochenegg.[2])
3. Die Verlegungsmethode.[4])
4. Die mechanische Methode von H. Helberger.[4])

Das Kupfergewicht der Leitungen ergibt sich aus der Ueberlegung, dass 1 dm^3 Kupfer 8·9 *kg* wiegt.

Beispiel: Wie groß ist das Gewicht einer Kupferleitung von 100 *m* (1000 *dm*) Länge und 7 mm^2 (0·0007 dm^2) Querschnitt?

Die Anzahl der dm^3 beträgt in diesem Falle 1000 *dm* . 0·0007 dm^2 = = 0·7 dm^3. Da das Gewicht

1 dm^3 Kupfer 8·9 *kg* beträgt, müssen
0·7 dm^3 Kupfer 6·23 *kg* wiegen.

XI. Kapitel.

Beschreibung von Centralstationen.

142. Die Wiener Centralstationen der Allgemeinen Oesterreich. Elektricitäts-Gesellschaft.[5])

Die Centrale Leopoldstadt arbeitet mit einer zweiten Centralstation, der Centrale Neubad, zusammen in ein gemeinschaftliches

[1]) Carl Hochenegg, Anordnung und Bemessung elektrischer Leitungen, 1893. Josef Herzog und Cl. P. Feldmann, die Berechnung elektrischer Leitungsnetze in Theorie und Praxis, 1893.

[2]) Carl Hochenegg, Anordnung und Bemessung elektrischer Leitungen, 1893.

[3]) Josef Herzog und Cl. P. Feldmann, Die Berechnung elektrischer Leitungsnetze in Theorie und Praxis, 1893.

[4]) Otto Frick, Zeitschrift für Elektrotechnik, XII. Jahrg., 1894, Seite 265.

[5]) Nach einem Vortrage des Direktor Josef Kolbe.

Kabelnetz von rund 37 *km* Tracenlänge zur Versorgung mehrerer Bezirke der Stadt Wien mit elektrischem Strom für Beleuchtung und Kraftübertragung.

An diese beiden, der Allgemeinen Oesterreich. Elektricitäts-Gesellschaft gehörigen Centralstationen, sind gegenwärtig rund 1850 Bogenlampen, 35500 Glühlampen und 70 Elektromotoren, entsprechend einem Aequivalent von etwa 5000 Glühlampen à 16 *NK* und 57 Watt Energiebedarf, angeschlossen.

Die Anlagen wurden nach dem Gleichstrom-Fünfleiter-System von der Firma Siemens & Halske erbaut; demnach werden die Lampen in 4 Gruppen, also zwischen 5 Leitungen, hintereinander geschaltet; die Spannung zwischen den Außenleitern im Netz beträgt daher das vierfache der Lampenspannung, d. i. im vorliegenden Falle $4 \times 110 =$ $= 440$ Volt; in der Centrale aber muss für die Feeder, je nach deren Belastung und dem darin zugelassenen Verluste, eine Spannung von 440—540 Volt herrschen. Für diese Spannung sind die Dynamomaschinen konstruirt, während die Theilung der Spannung, entsprechend den 4 Lampengruppen und der Ausgleich in den letzteren, durch Sammler erfolgt.

Die höhere Spannung ermöglicht es auch bei einem so ausgedehnten Netze wie dem vorliegenden mit verhältnismäßig schwachen Querschnitten der Leitungen das Auslangen zu finden, also das Anlagekapital thunlichst klein zu erhalten; das System gewährt aber auch alle die anerkannten Vortheile der direkten Gleichstromvertheilung bei der, durch die Anwendung von Sammlern bedingten Sicherheit und Wirtschaftlichkeit des Betriebes.

Eine besondere Bedeutung gewinnt das Gleichstrom-Fünfleitersystem für die elektrische Kraftübertragung und deren vornehmste Anwendung beim Betriebe elektrischer Bahnen; die hierfür bewährte, erprobte Spannung von etwa 500 Volt ist dieselbe, welche in den Dynamomaschinen der Fünfleiteranlagen zur Anwendung kommt. Es können daher die Dynamomaschinen in den vorbenannten Centralen der Allgemeinen Oesterreich. Elektricitäts-Gesellschaft jederzeit und sofort für den Betrieb elektrischer Bahnen herangezogen werden; zu diesem Zwecke sind auch bereits die nöthigen Schaltvorrichtungen vorhanden.

Die im Schwerpunkt des Konsumes liegende Centrale Neubad ist mit Wasserröhrenkesseln und stehenden, schnelllaufenden Collmann-Compoundmaschinen in direkter Kuppelung mit Innenpolmaschinen von Siemens & Halske ausgerüstet und kann damit normal etwa 12000 Glühlampen à 16 *NK* versorgen; außerdem steht hier ein Sammler, System Tudor, für normal 6000 Glühlampen à 16 *NK*.

Die Regulirung der Spannung im ganzen Netz und der Ausgleich derselben in den Gruppen erfolgen von der Centrale Neubad aus unter Vermittelung des Sammlers; es sind daher dortselbst auch alle für diese Zwecke nöthigen Apparate vorhanden, deren Ueberwachung und Bedienung eine äußerst einfache und gefahrlose ist.

Die Centrale Leopoldstadt, welche rund 1800 *m* von der Centrale Neubad entfernt und also dem Hauptstromverbrauch etwas entrückt erscheint, bewirkt vorläufig nur die Stromlieferung an die Schienen der Centrale Neubad, welche allein dem gesteigerten Bedarfe nicht mehr genügte; die Regulirung der Stromabgabe an die Stromabnehmer erfolgt jedoch, wie oben erwähnt wurde, unter Vermittelung der Centrale Neubad. In der Fernleitung von der Centrale Leopoldstadt zur Centrale Neubad treten allerdings namhafte Spannungsverluste auf; in wirtschaftlicher Beziehung kommen dieselben jedoch gar nicht in Frage, da die Betriebskosten in der Centrale Leopoldstadt, hauptsächlich infolge der Anwendung von Condensationsmaschinen, wesentlich geringer als in der Centrale Neubad sind.

Durch die Anlage eines Sammlers, für dessen eventuelle spätere Aufstellung alle Vorbereitungen schon jetzt getroffen wurden, kann die Centrale Leopoldstadt im Bedarfsfalle jederzeit zu einer Regulirstation umgestaltet werden.

Gegenwärtig sind 4 Stück Innenpoldynamomaschinen Type *J 110* von Siemens & Halske für je 540000 Watt und zwar für 1000 Ampère und 440—540 Volt bei 110—150 Touren in der Minute, in direkter Kuppelung mit Dampfmaschinen aufgestellt; die 6 Pole der einfachen Nebenschluss Dynamomaschine sind innerhalb des Ringankers, der gleichzeitig den Kollektor bildet, angebracht. Als Vortheile dieser Bauart sind die äußerst günstige magnetische Anordnung, die gute Ventilation des Ankers, die Ersparung eines besonderen Kollektors und der geringe Raumbedarf hervorzuheben.

Von den Dynamomaschinen führen unterirdisch verlegte Kabel zu dem, um etwa 1·2 *m* über dem Maschinenhausfußboden liegenden, Schaltbrettaufbau, auf welchem die Umschalter, die Ampère- und Voltmesser zur Strom- und Spannungsmessung, sowie zur Parallelschaltung der Maschinen und die Nebenschlussregulirwiderstände untergebracht sind.

Die Umschalter ermöglichen es, jede Dynamomaschine entweder an das Lichtleitungsnetz in Verbindung und parallel mit der Centrale Neubad, oder an ein künftig gesondert zu verlegendes Bahnleitungsnetz anzuschließen. Die Handhabung und Bedienung der wenigen vorhandenen Apparate (zu denen sich noch ein Strom- und ein Spannungszeiger für die Verbindungsleitung zur Centrale Neubad gesellen) gestaltet sich sowie der ganze Betrieb der Centrale Leopoldstadt, die ein

reines Zweileitersystem mit 440—540 Volt Spannung darstellt, denkbar einfachst, so dass mit sehr geringem Personale das Auslangen gefunden werden kann. Im Maschinenhaus ist ein elektrisch betriebener Laufkrahn von 17·8 *m* Spannweite für 15000 *kg* Last vorhanden, welcher von Siemens & Halske mit elektrischem Antrieb versehen wurde. Jede Bewegung besorgt ein separater Motor; die Bedienung des Krahnes erfolgt unter Vermittelung von herabhängenden Schnüren.

143. Die Centralstation der Internationalen Elektricitäts-Gesellschaft in Wien.

Die bisher bedeutendste elektrische Centralanlage im Gebiete der österreichisch-ungarischen Monarchie nach dem Systeme des Wechselstromes mittels Fernleitung wurde in Wien seitens der Internationalen Elektricitätsgesellschaft errichtet.

Die Anlage in ihrer baulichen und technischen Einrichtung eine Sehenswürdigkeit der Stadt, ist nach den Grundsätzen des modernsten wissenschaftlichen Fortschrittes errichtet worden.

Die kurze Dauer des Betriebes gestattet nicht, in finanzieller und statistischer Richtung bereits heute feststehende Daten über den Betrieb anzuführen; es mag daher genügen, diese Anlage in ihrem Baue, in ihren Einrichtungen und in ihrem Betriebe selbst zu beschreiben.

Die für etwa 5 Millionen Watt (d. i. ungefähr 100.000 Glühlampen à 16 *NK*) projektirte Anlage, befindet sich außerhalb der Stadt in unmittelbarer Nähe der Donau. Sie besteht aus zwei räumlich getrennten Gebäudekomplexen, von denen der eine die Maschinenhalle und das Kesselhaus, der andere, nebst dem Bureau's, eine Dampfpumpen und Filteranlage, sowie Mechaniker- und Schlosserwerkstätten umfasst. Beide Gebäudekomplexe sind durch einen geräumigen Rohrkanal miteinander verbunden. Das Wasser eines im Hofe befindlichen, ergiebigen Brunnens wird mittelst der erwähnten Dampfpumpe in eine große Cisterne geschafft, von wo es behufs Kondensation des Auspuffdampfes durch weite Röhren in das Maschinenhaus geleitet wird. Das Kondensationswasser, welches eine Temperatur von 35 bis 38° *C* hat, fließt zum Theile ab, zum Theil (nach Erfordernis) wird es in die Filteranlage gepumpt. Das chemisch gereinigte und filtrirte Wasser dient sodann zur Kesselspeisung. Im Kesselhause sind gegenwärtig 8 Steinmüller'sche Röhrendampfkessel mit je 242 m^2 Heizfläche und 2 ebensolche Kessel von Simonis & Lanz mit je 213 m^2 Heizfläche für Dampfspannungen bis zu 10 Atm. aufgestellt.

Die Kessel sind einzeln parallel geschaltet. Sowohl das Kesselhaus als die Maschinenhalle sind gegenwärtig auf die Hälfte ihrer geplanten

Größe ausgebaut; es ist deshalb nach der einen Seite der Abschluss durch eine provisorische Holzwand hergestellt, um jederzeit, ohne Störung des Betriebes, eine Erweiterung der Anlage vornehmen zu können. Im Kesselhause befinden sich 4 Worthington-Pumpen; für eine weitere Pumpe ist das Fundament bereits vorhanden. Zwei dieser Pumpen befördern das Kondensationswasser in die Filteranlage, die andern zwei führen das filtrirte Wasser der Kesselspeisung zu.

Die Kohlenzufuhr in das Kesselhaus erfolgt mittels, auf Schienen geführter Karren. Für die Schlackenabfuhr dient ein unterhalb der Kesselbatterie gebauter Kanal, von wo die Schlacke mittels eines Elevators direkt in den Hof befördert wird.

Das Maschinenhaus umfasst gegenwärtig 7 Wechselstrommaschinen von Ganz & Co., System Zipernovsky. Jede derselben ist mit ihrer zugehörigen Dampfmaschine (Compound-Kondensationsdampfmaschine von der Ersten Brünner Maschinenfabriks-Gesellschaft) direkt gekuppelt. Die mechanische Gesammtleistung aller Dampfmaschinen beträgt 3900 *PS* und zwar eine mit 300 und 6 mit je 600·*PS*. Die 300pferdige Dynamo (Type A_7) hat bei 175 Umdrehungen in der Minute eine elektrische Leistungsfähigkeit von 100 A bei 2000 V. Jede der 600pferdigen Dynamo (Type A_8) macht 125 Umdrehungen in der Minute und liefert 200 A bei 2000 V. Die gesammte elektrische Leistung der gegenwärtig im Betriebe befindlichen Maschinen beträgt rund 2·6 Millionen Watt.

Die Wechselstrommaschinen (I. Seite 272, Fig. 276) bestehen im Wesentlichen aus einem Magnetrade, welches gleichzeitig als Schwungrad der Dampfmaschine dient und durch dessen Rotation in einem umgebenden, feststehenden Spulenkranz der Wechselstrom inducirt wird. Die Magnete, von denen bei der Type A_7 30, bei der Type A_8 40 vorhanden sind, stehen radial und werden durch besondere kleine Gleichstrommaschinen erregt. Die Zuführung des Erregerstromes erfolgt von der Welle aus mittels zweier isolirter Schleifringe. Jede der Maschinen hat etwa 5000 Polwechsel in der Minute. Die besonderen Vorzüge dieser Maschinen sind ihr hoher Wirkungsgrad, ihre einfache und solide Konstruktion, sowie schließlich der Umstand, dass die dem Betriebspersonale zugänglichen, feststehenden, sowie alle rotirenden Theile der Maschine, entweder unelektrisch sind, oder Gleichstrom von niederer Spannung führen. Es ist auch bemerkenswert, dass die Maschinen bei voller Belastung, selbst nach einem vielstündigem Betrieb, keine nennenswerte Temperaturerhöhung zeigen. Der auf Schienen ruhende Spulenkranz kann durch eine einfache Drehvorrichtung verschoben werden, wodurch das Magnetrad frei und einer gründlichen Reinigung zugänglich gemacht wird.

Sowol die Zuführung des Erregestromes, als auch die Ableitung des erzeugten Wechselstromes erfolgt mittels koncentrischer Kabel unterirdisch in einem Kabel-Kanal.

Zur Magnetisirung der Wechselstrommaschinen dienen 4 Erregermaschinen.

Es sind dies vierpolige Nebenschlussmaschinen von Ganz & Co. Type $V. P_5$, welche einzeln eine Leistung von 150 A bei 180 V haben (375 Umdrehungen in der Minute) und mit ihren zugehörigen Westinghouse-Dampfmaschinen dierekt gekuppelt sind. Die Erregeranlage ist in ihrer gegenwärtigen Ausdehnung bereits für eine künftige Vergrößerung des Elektricitätswerkes vorgesehen.

An der Stirnwand der Maschinenhalle befindet sich das Schaltbrett auf einem erhöhten Podium.

Jede der 4 Erregermaschinen besitzt ihren eigenen Nebenschlussrheostat. Mittels zweitheiliger Kurbelumschalter ist es möglich, jede der Maschineu entweder auf die Sammelschienen der Erreger oder auf die gemeinschaftliche Voltmesserleitung zu schalten. Ersteres findet bei linksseitiger Kurbelstellung statt und gilt für die bereits im Betriebe befindlichen Maschinen (deren gemeinsame Betriebsspannung der Voltmesser anzeigt), letzteres bei rechtsseitiger Kurbelstellung für den Fall der Zu- oder Umschaltung der Maschinen, um sie (mit Benützung eines zweiten Voltmessers) vorher auf gleiche Spannung zu bringen. Die Stromabgabe jeder der Erreger kann an Ampèremessern abgelesen werden. In die gemeinsame Rückleitung der Nebenschlüsse der Erregermaschinen sind die Automatrheostate, System Bláthy (I. Seite 177 ff.) geschaltet, welche zur automatischen Spannungsregulirung dienen.

Bezüglich der Schaltung der Wechselstrommaschinen ist zu bemerken, dass die Magneträder den Erregerstrom aus den Erreger-Sammelschienen empfangen. Dieser Erregerstrom kann nach Bedarf für jede einzelne Maschine mit Hilfe der vorgeschalteten Kurbelrheostate regulirt und bei jeder Maschine an dem zugehörigen Ampèremesser abgelesen werden. Der erzeugte Wechselstrom geht von jeder Maschine zunächst zu dem Ampèremesser und von da entweder zu einem linksseitigen oder rechtsseitigen Quecksilberausschalter. Mittels ersterer kann jede der Wechselstrommaschinen an die Hauptsammelschienen von denen die Straßenkabel abzweigen, mittels letzterer jedoch an die Belastungsrheostate angeschlossen werden. Diese, in einem Souterrainlokale befindlichen Belastungsrheostate bestehen aus Eisendraht, welcher auf isolirt aufgestellte Rahmen aufgewickelt ist. Es sind Rheostate in so großer Zahl vorhanden, dass dieselben die volle elektrische Energie von 600 PS absorbiren können. Sie erscheinen in 48

Gruppen getheilt, welche durch eine Klaviatur einzeln zu- oder abschaltbar sind. Die nebeneinander zu schaltenden Wechseltrommaschinen werden, wie bekannt, auf gleiche Spannung und gleiche Phase gebracht.

Die Phasengleichheit wird durch Belastung der neu hinzu zu schaltenden Maschinen mittels Ersatzrheostaten erzielt; den Zustand der Phasengleichheit zeigt der, aus einer Glühlampengruppe bestehende, Phasenindicator an. Von den Hauptsammelmaschinen gehen die Straßenkabel aus.

Von der Centrale zweigen gegenwärtig 4 Hauptkabel, koncentrische Kabel nach dem System Berthoud Borel, aus der Fabrik Jacottet & Co. in Wien (Simmering), in die Stadt ab, welche zur Speisung von 50.000 Glühlampen à 16 *NK* hinreichen.

Eines der Kabel mit 2×250 *mm*² führt über die Augartenbrücke; davon zweigt ein Kabel mit 2×100 *mm*² Querschnitt direkt in den Prater, die beiden anderen mit je 2×220 *mm*² Querschnitt über die Aspernbrücke, beziehungsweise Ferdinandsbrücke zur Ringstraße ab. Ueber letztere führt eine doppelte Ringleitung. Von dem innern Ringkabel zweigt das Kabelnetz der inneren Stadt, von dem äußeren jenes der umliegenden Bezirke ab. Die Kabel, welche vor ihrer Verlegung auf die dreifache Betriebsspannung (6000 Volt) erprobt wurden, haben eine vorzügliche Isolation (in der Regel mehr als 1500 Megohm für 1 *km* bei 15° *C*) und sind durchwegs unterirdisch verlegt. Die Gesammtlänge der bisher verlegten Kabel beträgt mehr als 100 *km*. An verschiedenen Stellen des Kabelnetzes sind Vertheilungskästen eingesetzt, durch welche es möglich ist, sowol die einzelnen Kabelstrecken mit den Hauptkabeln beliebig zu verbinden, als auch einzelne Strecken derselben behufs Ausführung von Arbeiten gänzlich abzuschalten.

Von den Straßenkabeln führen die Abzweigungen in die Häuser, gewöhnlich in die Kellerräume zu den Transformatoren, welche sich in verschlossenen, mit Eisenblech ausgekleideten Kästen befinden.

Die Umsetzer, System Zipernowsky-Déri-Bláthy (Seite 9 ff.) haben bei normaler Belastung einen Wirkungsgrad von 95—97 %, ihr Umsetzungsverhältnis ist 1 : 18. Dieselben können als Bestandtheile der Vertheilungsleitung betrachtet werden, da sie vollständig selbstthätig wirken, also gar keine Bedienung erfordern. Um sie vor Ueberlastung zu schützen, findet die Zuführung des Primärstromes, sowie die Ableitung des Sekundärstromes, durch entsprechend bemessene Bleisicherungen statt. Von dem Umsetzer kann ein Zwei- oder Dreileitersystem (oder auch eine 50 voltige Leitung für einzelne Bogenlampen) zunächst zu einem Elektricitätszähler und von diesem zu der betreffenden Installation geführt werden.

Die Elektricitätszähler System Bláthy, zeichnen sich durch große Genauigkeit und überraschende Einfachheit aus. Sie enthalten kein Uhrwerk, sondern wirken selbständig, einzig und allein durch den elektrischen Strom. Sie werden gegenwärtig in 3 Typen (für 25, 100 und 200 A, d. i. also bis zu etwa 50, 200, bezw. 400 Glühlampen à 16 *NK*) verwendet.

In der Centralstation befindet sich auch ein Messzimmer, welches mit allen für den elektrischen Betrieb erforderlichen Messeinrichtungen versehen ist. Es sind dies Einrichtungen für Isolationsmessungen an Umsetzern und Leitungsmaterialien, fernerVorkehrungen, um den Isolationszustand des gesammten Kabelnetzes, mit den daran angeschlossenen Maschinen und Umsetzern, jederzeit während des Betriebes ermitteln zu können, endlich Einrichtungen für die Aichnung der Elektricitätszähler, eine Photomesserkammer fürLichtmessungen u. dgl.

Diese Centralstation ist seit 15. November 1890 in ununterbrochenem Betrieb.

Wenn man alle gegenwärtig angeschlossenen Glüh- und Bogenlampen (von welch' letzeren in der Regel 3 in der Serie auf 100 V. geschaltet werden) nach ihrem Verbrauche an elektrischer Energie auf 16-kerzige Glühlampen umrechnet, so beträgt die gegenwärtige Belastung der Centrale 62.000 Glühlampen à 16 *NK*.

Von den Konsumenten sind zu nennen: Die k. und k. Hofburg, Theater u. Koncertlokalitäten (Karltheater, Musikverein), Bahnhöfe (Nordbahn, Franz Josefs-Bahn), öffentliche Institute und Banken, Clubs, zahlreiche Geschäftsetablissements, Gast- und Kaffehäuser, sowie endlich viele Palais und Privatwohnungen.

Weitere Centralstationen der Internationalen Elektricitätsgesellschaft nach dem Wechselstrom-Umsetzer-System Zipernowsky-Déri und Bláthy bestehen in Fiume und Bielitz-Biala.

XII. Kapitel.

Vortheile der elektrischen Beleuchtung.

144. Vortheile.

1. Geringere Erwärmung der Luft als durch alle anderen Lichtquellen.

2. Reinhaltung der Luft in geschlossenen Räumen. Keine schädliche Einwirkung auf den Organismus des menschlichen Körpers Gas.

z. B. verschlechtert die Luft durch sehr großen Sauerstoff-Verbrauch und durch Erzeugung von Kohlensäure, Kohlenoxyd, Schwefelwasserstoff und anderer Verbrennungsprodukte. Schon der Gehalt von 2 bis 3 Procent Leuchtgas in der Luft wirkt tödlich auf Menschen und Thiere ein.

3. Gemälde, Dekorationen, Tapeten, Metallverzierungen u. s. w. erleiden nur durch das elektrische Licht keinen Schaden.

4. Bei Bogenlicht erscheinen die Gegenstände in ihrer natürlichen Farbe.

5. In gut installirten Anlagen ist jede Feuersgefahr ausgeschlossen.

6. Keine Gefahr durch Explosion oder Erstickung.

7. Vollkommen ruhiges Licht. Das Zucken und Wechseln in der Lichtintensität hat in zweckentsprechend eingerichteten Anlagen aufgehört.

8. Schnelligkeit und Bequemlichkeit der Handhabung.

9. Erzielung der höchsten Lichteffekte, Koncentrirung sehr großer Licht-Intensitäten an einem Punkte (Effektbeleuchtungen, Beleuchtungen auf Leuchtthürmen, Signallichter u. s. w.). Mit den Lichteffekten des elektrischen Bogenlichtes kann keine andere Lichtquelle konkurriren.

10. Die elektrische Beleuchtung kommt im Großen an Billigkeit jeder anderen Lichtquelle zum mindesten gleich und überbietet jede derselben, wenn eine Wasserkraft zur Verfügung steht. In bestehenden Kraftanlagen kann die Kraft durch eine Dynamomaschine häufig vortheilhaft ausgenützt werden.

IV. Abschnitt.

Kraftübertragung.

I. Kapitel.

Die Kraftübertragung im Allgemeinen.

145. Geschichte. Bis in die neueste Zeit kannte man nur drei Systeme der Uebertragung von Kraft auf große Entfernungen u. zw.:

1. Die hydraulische Kraftübertragung.
2. Die pneumatische Kraftübertragung.
3. Die Kraftübertragung mittelst Drahtseilbetrieb (Hirn 1850).

Den ersten praktischen Versuch, die Elektricität als Triebkraft zu benützen, machte Moritz Hermann Jacobi (1838), indem er mittelst eines Elektromotors von $^3/_4$ bis 1 *HP* ein Boot auf der Neva in Bewegung setzte. Der erste öffentliche Versuch einer elektrischen Kraftübertragung auf große Entfernungen wurde von Hypolit Fontaine auf der Weltausstellung in Wien (1873) erdacht und ausgeführt. Im Jahre 1882 unternahm Marcel Deprez, gelegentlich der elektrischen Ausstellung in München, eine Kraftübertragung von etwa 5 *HP* auf 5·5 *km* von Miesbach nach München (Glaspalast). Das Güteverhältnis dieser Versuchsanlage, sowie der im Jahre 1886 von demselben Forscher zwischen Creil und Paris ausgeführten, blieb soweit zurück, dass an eine praktische Ausnützung derselben nicht gedacht werden konnte. Diesen Uebelstand behob im Jahre 1887 C. E. L. Brown durch die elektrische Kraftübertragung von 50 *HP* auf 8 *km*, mit einem Güteverhältnis von 75% zwischen Kriegstetten und Solothurn zur außerordentlichen, dauernden Zufriedenheit der Besteller. Der kühnste Versuch einer elektrischen Kraftübertragung fand im Jahre 1891 anlässlich der Internationalen Elektrotechnischen Ausstellung in Frankfurt a. M. statt, wohin aus Lauffen a. N. 300 *HP* auf eine Entfernung von 175 *km* übertragen wurden.

146. Begriff. Das Wesen der elektrischen Kraftübertragung besteht darin, dass man die Elektricität an einem bestimmten Orte erzeugt, sie von diesem Orte aus auf beliebig weite Entfernungen leitet und dort entweder direkt oder indirekt für die verschiedensten Zwecke des praktischen Lebens verwertet. Direkt kann die Elektricität zur elektrischen Beleuchtung, zu elektrochemischen Zwecken, zur elektrischen

Heizung, Schweißung, Schmelzung, Zündung, in der Telegraphie, Telephonie, im Signalwesen u. s. w., indirekt zum Antriebe von Elektromotoren Verwendung finden. Der Elektromotor besorgt dann, sowie jeder Motor überhaupt, den Antrieb von Dynamomaschinen, Werkstätten, Werkzeugmaschinen, Hämmern, Hebemaschinen, Schiebebühnen, Pumpen, Feuerspritzen, landwirtschaftlichen Maschinen, Gesteinsbohrern, Minirmaschinen, Blasebälgen, Ventilatoren, Exhaustoren, Nähmaschinen,

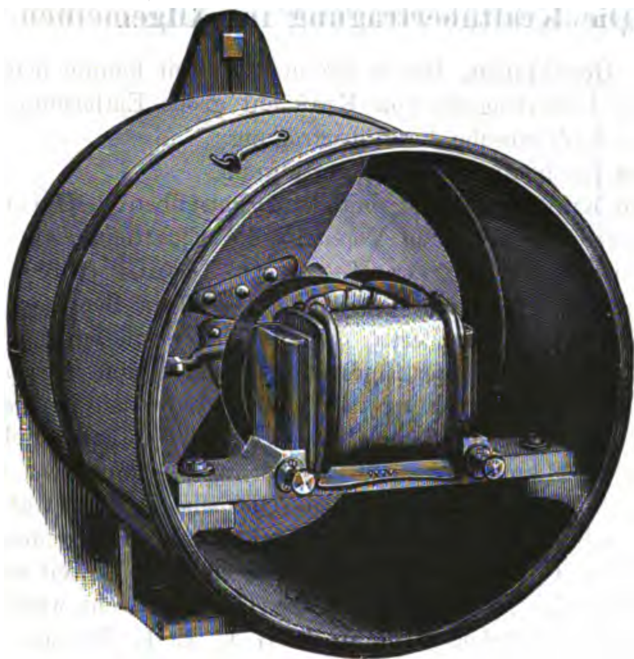


Fig. 268.

Fächern, Kaffeemühlen und jeder Maschine überhaupt, elektrischen Straßenbahnen, Grubenlokomotiven, Schiffen u. s. w.

Das Bild, Fig. 268, stellt eine Konstruktion eines K-Motors (I. Seite 267, Fig. 272) sammt Ventilator der Firma Siemens & Halske dar. Auf der Welle des Motors sitzen die Flügel des Ventilators. Der Motor erscheint auf einem Holzbrett aufmontirt, welches mit Ansätzen im Inneren des gusseisernen Gehäuses verschraubt ist. Schickt man, bei den in der Figur ersichtlichen Klemmen Strom in den Motor, so lauft derselbe an und setzt den Ventilator in Thätigkeit.

Treibt man eine Dynamomaschine an, so gibt dieselbe Strom, schickt man umgekehrt in eine Dynamomaschine Strom, so lauft die-

selbe an und gibt Kraft (I. Seite 124). Ein- und dieselbe Dynamomaschine kann demnach sowohl als Stromerzeuger, als auch als Kraftgeber Verwendung finden. Damit ergibt sich die folgende Anordnung einer Kraftübertragung, Fig. 269. Den Stromkreis einer Dynamomaschine schließt ein in der Ferne befindlicher Elektromotor, welcher zur Abgabe von Kraft an eine weitere Dynamo oder sonstige Maschine dienen kann. Ein Hauptstromregulator regulirt die Stromverhältnisse in dem Stromkreise zwischen Dynamo und Motor, während Blitzschutzvorrichtungen die Anlage vor Blitzschlägen sichern.

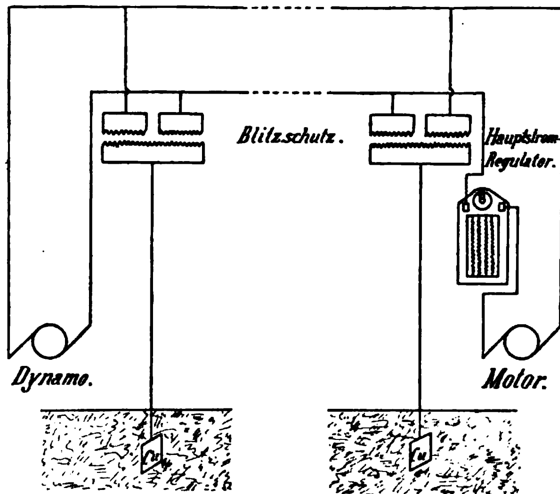


Fig. 269.

Die elektrische Kraftübertragung besteht somit in der Uebertragung einer Arbeit von einem Orte nach e i n e m zweiten Orte oder nach m e h r e r e n anderen Orten; sie stellt daher entweder eine Uebertragung oder eine Uebertragung und Vertheilung von Arbeit dar. Ganz außerordentliche Vortheile bietet die elektrische Kraftübertragung in der Vertheilung der Arbeit. Als es sich z. B. im Jahre 1888 um den Antrieb der Ventilatoren und Exhaustoren im Neuen Wiener Rathhause handelte, zeigte es sich, dass zur Lösung der gestellten Aufgabe nur der Elektromotor berufen sei; alle anderen Antriebe z. B. mittelst Dampf, Gas, Wasser und so weiter waren wirtschaftlich ausgeschlossen. Bei elektrischen Kraftanlagen gestaltet sich insbesondere die Bedienung außerordentlich einfach. Bei der eben genannten Anlage z. B. werden die Ventilatoren und Exhaustoren von einem Schaltbrette aus, das sich

etwa im Mittelpunkte derselben befindet, in Thätigkeit gesetzt. Auf dem Schaltbrette sind Ausschalter und Ampèremesser aufmontirt. Schließt man auf dem Schaltbrette, durch das Einschalten eines Ausschalters, den Stromkreis eines Elektromotors, so lauft derselbe an. Aus den Angaben des Ampèremessers kann man leicht ersehen, ob der Elektromotor lauft und mit welchen Umdrehungen oder ob derselbe still steht. Beim Einschalten zeigt der Ampèremesser eine sehr hohe Stromstärke an, sobald der Elektromotor lauft, sinkt diese Stromstärke, so dass sich mit der normalen Umdrehungszahl auch die normalen Stromverhältnisse einstellen. Einen rechnerischen Aufschluss über die Stromverhältnisse bei einer Kraftübertragungsanlage sollen die folgenden Beispiele wiedergeben.

Beispiel: Ein Elektromotor im Neuen Wiener Rathause zu etwa 4 *PS* hat einen innereren Widerstand von rund 0·39 Ohm, der Widerstand in der primären Dynamo beträgt etwa 0·003 Ohm, der Widerstand zwischen Dynamo und Motor etwa 0·007 Ohm, die elektromotorische Kraft der Primärdynamo 100 Volt; wie hoch stellt sich unter diesen Angaben die Stromstärke im Augenblicke des Einschaltens?

Die Stromstärke ergibt sich aus dem Ohm'schen Gesetze

$$A = \frac{V}{O} = \frac{100}{0{\cdot}29 + 0{\cdot}007 + 0{\cdot}003} \doteq 333 \text{ Ampère.}$$

Die Stromstärke in dem gemeinsamen Stromkreise zwischen Dynamo und Motor beträgt demnach im Augenblicke des Einschaltens 333 Ampère. Da den Elektromotor normal 35 Ampère durchfließen, würden bei 333 Ampère die Sicherungen zwischen Dynamo und Motor augenblicklich abschmelzen oder die Wickelungen des Elektromotors Schaden leiden, wenn der Motor nicht augenblicklich anlauft. Zur Vermeidung dieser Gefahr verwendet man in dem genannten Stromkreise einen Hauptstromregulator (Anlasswiderstand, Anlassapparat, Regulirwiderstand), Fig. 269. Wie dieser Widerstand bemessen sein muss, soll das folgende Beispiel lehren:

Beispiel: Welchen Widerstand hat ein Anlassapparat, welcher unter den Angaben des letzten Beispieles die Stromstärke von 333 Ampère auf 80 Ampère herabsetzt?

In diesem Falle muss der Widerstand des Gesammtstromkreises

$$O = \frac{V}{A} = \frac{100}{80} = 1{\cdot}25 \text{ Ohm sein.}$$

Da nach dem letzten Beispiele der Widerstand des Gesammt stromkreises 0·3 Ohm beträgt ergibt sich ein Anlasswiderstand von

$$1{\cdot}25 - 0{\cdot}3 = 0{\cdot}95 \text{ Ohm.}$$

Sobald der Motor anlauft, entwickelt derselbe eine elektromotorische Kraft von der entgegengesetzten Richtung derjenigen der Primärmaschine; von jetzt an gelten die obigen Rechnungen nur dann, wenn man anstatt der elektromotorischen Kraft der Primärmaschine die Differenz der elektromotorischen Kräfte der Primär- und Sekundärmaschine einsetzt. Diese Ueberlegung führt zur Lösung des nächsten Beispieles.

Beispiel: Welchen Wert erhält die Stromstärke in dem obigen Stromkreise, bei gänzlich ausgeschaltetem (kurzgeschlossenem) Anlasswiderstande und einer elektromotorischen Kraft des Motors von 90 Volt?

$$A = \frac{V}{O} = \frac{100 - 90}{0 \cdot 3} \doteq 33 \text{ Ampère.}$$

Die Stromverhältnisse einer Kraftanlage stellen sich demnach folgendermaßen: Beim Einschalten hat man in dem Hauptstromregulator soviel Widerstand einzuschalten, dass die Stromstärke annähernd den doppelten oder dreifachen normalen Wert erhält; dieser Widerstand entspricht dem Gesammtwiderstande des Hauptstromregulators. Sobald der Elektromotor anlauft, schaltet man allmählich Widerstand aus, bis der Hauptstromregulator ausgeschaltet, d. h. kurzgeschlossen erscheint. Der letzte Fall tritt mit dem normalen Laufe des Motors ein. Der Anlasswiderstand muss während des Betriebes ausgeschaltet sein, weil derselbe, dem Ohm'schen Gesetze entsprechend, Strom verbraucht.

Beispiel: Wieviel *PS* verbraucht ein Hauptstromregulator in einem Stromkreise von 125 Ampère, wenn in demselben 0·5 Ohm eingeschaltet sind?

Dieser Regulator tilgt eine Spannung

$V = A \,.\, O = 125 \,.\, 0 \cdot 5 = 62 \cdot 5$ Volt oder eine elektrische Leistung von

62·5 Volt . 125 Ampère = 7812·5 Voltampère oder
7812·5 : 736 $\doteq$ 10·61 *PS*.

147. Güteverhältnis. Das Güteverhältnis einer Kraftübertragung vergleicht die an der primären und sekundären Maschine geleisteten elektrischen Arbeiten. E sei die elektromotorische Kraft in der primären Maschine, e jene in der sekundären Maschine und i die Stromstärke in der Zwischenleitung.

Es sind hier zwei Fälle zu unterscheiden:

1. Primäre und sekundäre Maschinen haben Serienschaltung; dann ist das Güteverhältnis

$$G_e = \frac{e \,.\, i}{E \,.\, i} = \frac{e}{E}.$$

Diese Gleichung nennt man das Gesetz von Siemens.

2. Primäre und sekundäre Maschinen sind Nebenschluss- oder Gemischtgeschaltete Maschinen. Finden in diesem Falle in der Leitung Stromverluste statt, so haben die Ströme in den beiden Maschinen verschiedene Werte. Bezeichnet man dann die Ankerströme mit i_1 und i_2, so ergibt sich das Güteverhältnis aus der Gleichung

$$G_e = \frac{e \,.\, i_2}{E \,.\, i_1}.$$

Beispiel: Welchen Wert hat das elektrische Güteverhältnis einer Nebenschlussmaschine unter Berücksichtigung der folgenden Angaben? Angaben: Elektromotorische Kraft der primären Maschine = 110 Volt, elektromotorische Kraft der sekundären Maschine = 100 Volt, primärer Ankerstrom = 32 Ampère, sekundärer Ankerstrom = 30 Ampère.

$$G_e = \frac{100 \,.\, 30}{110 \,.\, 32} = 0{\cdot}85 \text{ oder } 85\%.$$

Das mechanische Güteverhältnis stellt das Verhältnis der Pferde, welche die sekundäre Maschine abgibt $P_2\ S_2$, zu jenem, welche die primäre Maschine aufnimmt $P_1\ S_1$ dar. D. h.

$$G_m = \frac{P_2\ S_2}{P_1\ S_1}.$$

Beispiel: Wie groß ist das mechanische Güteverhältnis einer Kraftübertragung, wenn die sekundäre Maschine 20 $P_2\ S_2$ abgibt, während die primäre Maschine 25 $P_1\ S_1$ aufnimmt?

$$G_m = \frac{20}{25} = 0{\cdot}80 \text{ oder } 80\%.$$

148. Berechnung der Kraftübertragung. Die Berechnung der Kraftübertragung umfasst die Berechnungen der Leistung des Motors, des Spannungsverlustes in der Leitung, der Leistung der Dynamo und der Leistung des, die Dynamo antreibenden Motors. Als Erläuterung dieser Berechnungen seien die folgenden Beispiele angeführt:

Beispiel: Welche Leistungen haben Elektromotor, Dynamomaschine und Antriebmotor einer Kraftübertragungsanlage, wenn der Elektromotor 80 *P S* abzugeben hat, in den Leitungen 2 % der Leistung des Elektromotors verloren gehen und die Güteverhältnisse des Elektromotors und der Dynamo je 80% betragen?

1. Stromverbrauch des Elektromotors. Der Elektromotor soll 80 *PS* leisten; das sind

736 . 80 = 58880 Voltampère. Da das Güteverhältnis des Elektromotors 80% beträgt, verbraucht derselbe

$$58880 \cdot \frac{100}{80} = 73600 \text{ Voltampère.}$$

2. Stromverbrauch in der Leitung. Nach Annahme gehen in der Leitung 2% des Stromes, welchen der Elektromotor verbraucht verloren, d. h. der Stromverlust in der Leitung hat den Wert

$$73600 \cdot \frac{2}{100} = 1472 \text{ Voltampère.}$$

3. Leistung der Dynamo. Die Dynamo muss 73600 Voltampère für den Elektromotor und 1472 Voltampère für den Stromverbrauch in der Leitung abgeben. Die Leistung der Dynamo stellt sich somit auf

$$73600 + 1472 = 75072 \text{ Voltampère.}$$

4. Leistung der Dampfmaschine. Da nach Annahme 80% der Leistung der Dampfmaschine in der Dynamo in Strom umgesetzt werden, muss die Dampfmaschine

$$75072 \cdot \frac{100}{80} = 93840 \text{ Voltampère leisten.}$$

Mit Berücksichtigung der Beziehung 1 PS = 736 Voltampère (I. Seite 52) ergeben sich somit

93840 : 736 = 127·5 PS als Leistung der Dampfmaschine.

149. Ansprüche, welche an die Kraftmaschinen gestellt werden:

1. Möglichkeit der Aufstellung des Motors an jedem beliebigen Orte.
2. Keine behördliche Genehmigung zur Aufstellung.
3. Möglichste Gefahrlosigkeit und Sicherheit des Betriebes.
4. Geringer Raumbedarf.
5. Einfache Bauart und Wirkungsweise.
6. Geringe Wartung.
7. Kein Geräusch, Rauch, Russ, Geruch u. s. w.
8. Billigster Anschaffungspreis.

In allen diesen Punkten ist der Elektromotor allen anderen Motoren mindestens gleichwertig.

II. Kapitel.

Elektrische Eisenbahnen.

150. Geschichte. Die Geschichte der elektrischen Eisenbahnen, einer besonderen Anwendung der elektrischen Kraftübertragung, führt uns einen gemeinsamen Weg mit der Geschichte der letzteren. Sowie

auf den meisten Gebieten der praktischen Elektrotechnik beseitigte die Firma Siemens & Halske auch im elektrischen Eisenbahnwesen die letzten Hindernisse. Während bisher die elektrische Eisenbahn aus dem Stadium der Versuche nicht herausgetreten war, betrieb die genannte Firma im Jahre 1879 auf der Berliner Industrie-Ausstellung die erste praktisch brauchbare elektrische Eisenbahn.

In Oesterreich-Ungarn war die erste elektrische Eisenbahn von B. Egger im Jahre 1880 auf der Wiener Gewerbe-Ausstellung zu sehen. Im Jahre 1883 eröffneten Siemens & Halske den Betrieb der Bahn in Lichterfelde; in demselben Jahre führten Field & Edison eine elektrische Bahn auf der Ausstellung in Chicago, etwa 1 *km* lang, vor. Seit dieser Zeit datiren die großartigen Fortschritte der elektrischen Bahnen in Amerika, während der Bau derselben in Europa erst heute beginnt. Im Jahre 1888 wurde in Richmond eine elektrische Bahn mit 20 Motorwagen in Betrieb gesetzt. Den nun folgenden enormen Aufschwung des elektrischen Bahnwesens gegenüber den Pferde-, Kabel- und Dampfbahnen zeigt die folgende Tabelle, welche ich einem Vortrage, gehalten von Hugo Koestler im Elektrotechnischen Verein in Wien am 14. Februar 1894, entnommen habe.

Jahr	Geleiselänge in *km*					Wagen im Betriebe
	Pferde	Elektricität	Kabel	Dampf	Zusammen	
1880	5116	—	52	805	5973	18000
1885	6231	13	280	870	7394	22200
1890	9058	2019	781	1138	12996	32505
1891	8488	6498	950	1018	16949	35877
1892	7136	9502	1034	992	18664	37399
1893	6720	10090	1100	1040	18910	38500

Diese epochemachende Entwicklung verdanken die elektrischen Bahnen in Amerika Field, Edison, Van Depoele, Daft, Henry, Sprague, Eickmeyer, Rae, Sperry, Short und Anderen. Die in der Tabelle angegebenen elektrischen Bahnen fahren mit einer Geschwindigkeit von 15 bis 40 *km* in der Stunde, die Kabelbahnen mit 15 bis 20 *km* in der Stunde, der Fahrpreis auf den elektrischen Bahnen beträgt 5 Cents (12·5 kr. österr. W.).

151. Systeme der Bahnen. Die elektrischen Bahnen können entweder von einer Centrale aus betrieben werden, also mittelst einer

festen Elektricitätsquelle (Dynamo) oder mittelst einer Elektricitätsquelle (Sammler), welche sich auf dem Wagen selbst befindet. Bisher stehen zumeist elektrische Bahnen mit fester Elektricitätsquelle im Betrieb.

I. Bahnen mit fester Elektricitätsquelle.

Bei diesem System kann der Strom dem im Wagen befindlichen Elektromotor entweder durch die Schienen oder oberirdisch oder unterirdisch zugeführt werden.

1. Zuführung durch die Schienen oder durch eine besondere Mittelschiene. Bei den zuerst gebauten elektrischen Bahnen wurden die beiden Schienen gleichzeitig als Zuleitungen des Stromes zu dem Elektromotor benützt. Die auf der Achse rotirenden Räder waren von einander isolirt und dienten zur Abnahme des Stromes von den Schienen oder es fanden gesonderte, auf den Schienen schleifende Bürsten Verwendung. Die Schienen mussten an den Stellen des Zusammenstoßes durch eigene Kupferbügel kontaktsicher verbunden werden, weil sonst der Widerstand der Schienenleitung einen zu hohen Wert annahm. Die wichtigsten Mängel dieses Systemes waren:

a) Gefahr für Menschen und Thiere. Dieser Mangel erscheint bei Anwendung von Gleichstrom unter 500 Volt bei allen elektrischen Eisenbahnsystemen vermieden.

b) Schlussbildung durch Feuchtigkeit in Folge des Lastverkehres zwischen den Schienen. Zur theilweisen Behebung des durch Feuchtigkeit entstehenden Schlusses fanden eine isolirte Mittelschiene zur Stromzuführung und die beiden Fahrschienen zur Stromableitung Verwendung. Dort, wo nicht besondere Bahnkörper zur Verfügung standen, umging man Unfälle an Kreuzungsstellen der Schienen mit Wägen und Straßen dadurch, dass diese Stellen stromlos oder isolirt waren, und erst von dem darüber fahrenden Wagen in den Stromkreis eingeschaltet wurden.

c) Der Straßenschmutz verhinderte die Herstellung eines gutleitenden Kontaktes zwischen den Schienen und den Stromabnehmern.

Nach dem System der Stromzuführung durch die Schienen gelangten zunächst zur Ausführung:

Die elektrische Bahn in der Gewerbe- und Industrie-Ausstellung in Berlin 1879 von der Firma Siemens & Halske. Die Zuleitung des Stromes erfolgte durch eine Mittelschiene, die Ableitung durch die Fahrschiene. Der Zug bestand aus einer Lokomotive, auf welcher sich der Elektromotor (Modell *D*) befand und aus einem Anhängewagen für etwa 20 Personen. Die Welle des Motors war parallel zum Geleise angeordnet; die Uebertragung fand, unter Anwendung einer doppelten Uebersetzung, vermittelst Kegelrädern statt.

Die elektrische Bahn von B. Egger auf der Wiener Gewerbe-Ausstellung im Jahre 1880. Der Strom wurde dem Elektromotor vermittelst Schleifkontakten an beiden Schienen zu-, beziehungsweise abgeführt.

Die elektrische Bahn in Groß-Lichterfelde bei Berlin. Für das Geleise besteht ein eigener Bahnkörper. Die Schienen sind, ohne besondere Isolation auf Holzschwellen befestigt und an den Stößen durch Kupferseile mit einander verlöthet. Zum Schutze der Menschen und Thiere vor elektrischen Schlägen sind die Schienen an den Straßenübergängen aus dem Stromkreise ausgeschaltet und durch unterirdisch verlegte Kabel überbrückt. Auf den Schienen schleifen Bürsten. Die Betriebsspannung beträgt 100 Volt. Die Bahn hat eine Länge von 4 *km* und ist eingeleisig. Die Betriebskosten stellen sich auf 24 Pfennige für 1 Wagenkilometer. Auf 2·4 *km* der Strecke findet Schienenleitung, auf 1·6 *km* derselben oberirdische Leitung Verwendung. Die größte Steigung beträgt 1 : 100 auf 0·4 *km*. Der kleinste Krümmungsradius misst 30 *m*.

Die elektrische Praterbahn in Wien auf der internationalen elektrischen Ausstellung im Jahre 1883 ebenfalls von Siemens & Halske.

Die elektrische Bahn am Strand von Brighton, erbaut von Magnus Volk.

2. Oberirdische Stromleitung. Das System der oberirdischen Stromleitung findet überall dort Verwendung, wo die Aufstellung von Leitungsstangen gestattet ist. Dieses System stellt sich elektrisch und wirtschaftlich am günstigsten. Die Zu- und Rückleitung des Stromes erfolgt entweder einerseits durch die Schienen, andererseits durch eine Luftleitung, Fig. 270 und 271, oder durch zwei Luftleitungen. Die Luftleitungen können an Leitungsstangen, welche neben dem Geleise, Fig. 270 und 271, oder auf Seilen, die zwischen, zu beiden Seiten des Geleises stehenden, Leitungsstangen getragen werden, führen. In letzterem Falle sind die Leitungen an Seilen in der Mitte des Geleises isolirt befestigt und bestehen entweder aus blanken Kupferdrähten oder aus blanken Kupferdrahtseilen. Das System der oberirdischen Stromzuleitung wurde zuerst von der Firma Siemens & Halske auf der Pariser Internationalen Ausstellung im Jahre 1881 vorgeführt.

Die Fig. 270 bis 273 geben die wichtigsten Einrichtungsstücke einer elektrischen Eisenbahn und deren Anordnung wieder. Die Stromzuleitung erfolgt durch einen, an Konsolen befestigten Kupferdraht. Die Konsolen werden von Leitungsstangen getragen. Zur Rückleitung des Stromes dienen die Schienen, von welchen aus der Strom mittelst besonderer Schleifkontakte in den Elektromotor tritt. Die Dynamo treibt,

Fig. 270 und 271, ein Vorgelege an, von welchem zu jeder Wagenachse eine Uebersetzung führt. Die Fig. 270 und 271 stellen den Quer- und den Längsschnitt durch eine kleine elektrische Lokomotive dar. Auf dem Wagen befinden sich zwei Sitze zur Hin-, beziehungsweise Rückfahrt des Wagenführers. Neben jedem Sitze dient eine Kurbel zur Regulirung des Widerstandes, eine zweite zum Bremsen. Die letztere Kurbel trägt eine Glocke, welche durch das Heben des Griffes derselben bethätigt wird. In der Fig. 271 erscheint auf der linken Seite nur die Kurbel zur Widerstandsregulirung, auf der rechten Seite nur die Kurbel zum Bremsen veranschaulicht. Auf dem Wagendache ist ein Laufkontakt, System Sidney H. Short, Fig. 272, aufmontirt, welcher durch zwei kräftige Federn gegen die Leitung gedrückt wird. Die vordere Feder kann man aus derselben Figur ersehen. Der Laufkontakt besteht aus einem Schuh, Fig. 273, der auf der unteren Fläche der Leitung schleift. Der Schuh schleift mit der inneren Bodenfläche auf der Leitung. Zur Vermeidung von zu starker Abnützung der Leitung ist der Schuh, an der Berührungsfläche mit derselben, mit einem weichen Metall ausgegossen; das letztere nützt sich wohl rasch ab, kann jedoch leicht ersetzt werden. Zur Befestigung der Stange, welche den Schuh trägt, an der Grundplatte, dient ein Universalgelenk, welches seitliche Ausweichungen der Leitung bis auf 1 *m* zulässt.

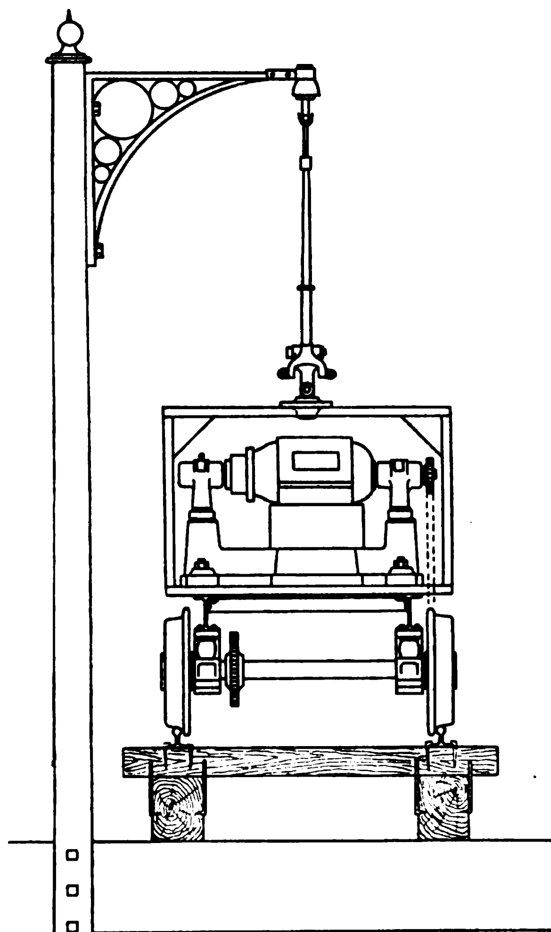


Fig. 270.

Nach dem System der oberirdischen Zuleitung befinden sich im Betriebe:

Die elektrische Bahn in Mödling bei Wien gebaut von der Firma Siemens & Halske im Jahre 1883.

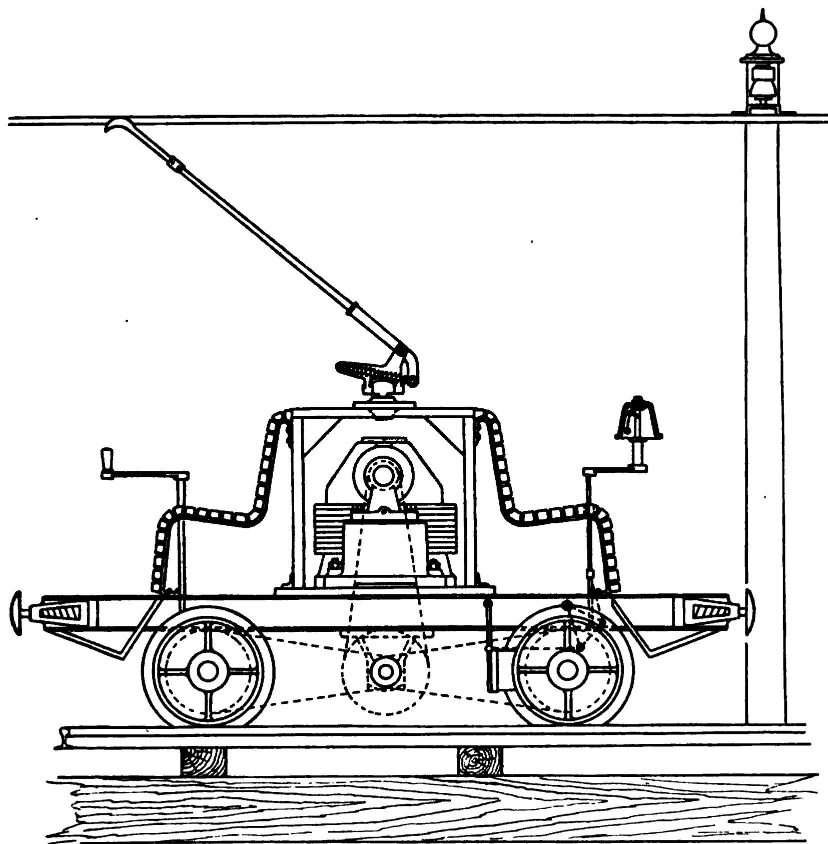


Fig. 271.

Die elektrische Bahn Frankfurt-Offenbach zu Beginn des Jahres 1884 von der Firma Siemens & Halske fertiggestellt. Auf einer Seite des Geleises sind Säulen aufgestellt, auf welchen besondere Leitungen, durch Kabel aus Stahl- und Kupferdrähten, getragen werden. Die Leitungen bestehen aus geschlitzten Eisenröhren. Zur Befestigung der Kabel, welche besonders den Durchhang der Leitung in der Mitte zwischen je zwei Säulen verhindern an den Leitungsstangen, dienen Isolatoren. Innerhalb der eisernen Röhren gleiten 4 kupferne Reiber

von elliptischer Form, welche durch ein biegsames Seil miteinander verbunden sind. Die Reiber sind aus 2 Theilen zusammengesetzt, welche durch eine Spirale gegen die Innenwand der Röhren gedrückt werden. Von dieser Kontaktvorrichtung führt aus jeder Rohrleitung ein Kabel den Strom in den Elektromotor. Die Bahn ist eingeleisig und besitzt Ausweichstationen mit besonderer Einrichtung. Die Weichen sind selbstthätig. Das Kontaktschiffchen lauft mit dem Wagen in die, dem betreffenden Geleise entsprechende Rohrleitung ein. Die Strecke hat eine Länge von 6·7 *km*. Im Betriebe befinden sich 14 Wagen, von welchen 10 ihre eigenen Motoren besitzen. Zwei Dampfmaschinen zu je 120 *HP*



Fig. 272.



Fig. 273.

treiben 4 Dynamo zu je 300 Volt bei 70 Ampère an. Das mechanische Güteverhältnis schwankt, je nach den Steigungen, zwischen 50 und 80%. Die Dynamo sind nebeneinander geschaltet. Zum Antriebe von 4 Wagen genügen 2 Dynamo. Das Gewicht der Wagen beträgt etwa 4000 *kg*; sie nehmen beiläufig je 22 Personen auf. Die Bahn fährt mit einer Geschwindigkeit von 12 *km* in 1 Stunde. Die Betriebskosten stellen sich für ein Wagenkilometer auf 19·5 Pf., die größte Steigung beträgt 1 : 30, der kleinste Krümmungsradius 30 *m*.

Auf der verlängerten Strecke der Lichterfelder Bahn, von der Cadettenschule bis zur Potsdamer Bahn, hat die Firma Siemens & Halske eine neue Kontaktvorrichtung, einen sogenannten Kontaktbügel zuerst in Anwendung gebracht. Ueber dem Dache des Wagens führt ein Stromabnehmer zu dem eben genannten Kontaktbügel, Fig. 274. Die Einrichtung der Wagen ermöglicht ohne Weiteres ein Uebergehen

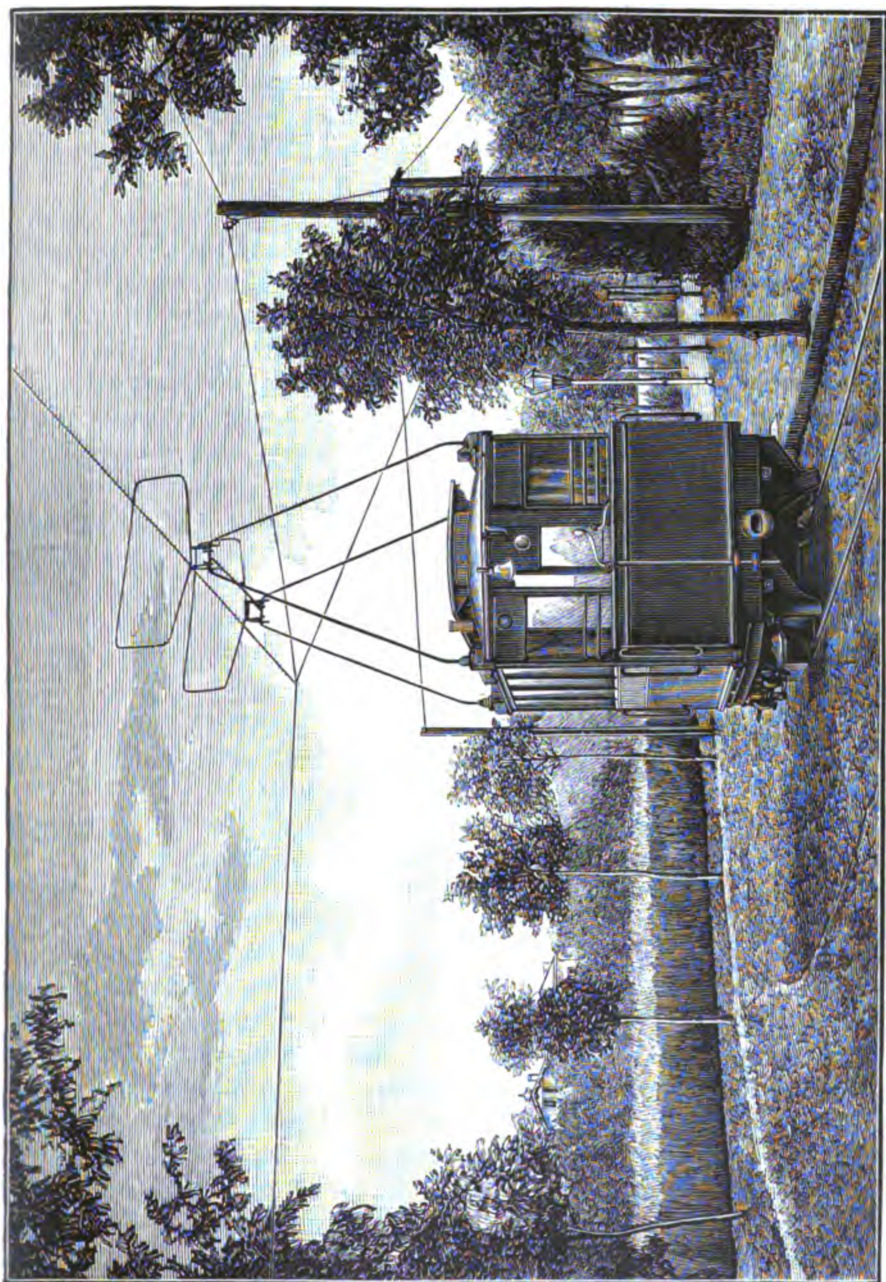


Fig. 274.

der Wagen von der alten Strecke mit Schienenleitung auf die neue mit oberirdischer Leitung.

Dieselbe Kontaktvorrichtung besitzen die folgenden zum Theile schon ausgeführten, zum Theile im Bau begriffenen Bahnen derselben Firma: Zwei Linien in Hannover, zwei Linien in Genua, eine Linie in Dresden, eine Linie in Barmen, eine Linie in Bukarest und eine Linie in Budapest.

Am 21. Mai 1894 ist von derselben Firma eine elektrische Stadtbahn in Lemberg nach demselben Systeme dem Betriebe übergeben worden. Den folgenden Bericht über diese Bahn entnehme ich dem elektrotechnischen Anzeiger in Berlin. Das die Stadt durchziehende Netz elektrischer Bahnen besteht aus folgenden Strecken: Einer etwa 6 *km* langen Durchmesserlinie von dem im Westen der Stadt gelegenen Staatsbahnhof nach der östlichen Vorstadt Łyczakower, einer vom Mittelpunkte der Stadt aus abzweigenden Radialstrecke, nach dem Kiliński-Park, ferner einer kurzen Zweigstrecke nach dem großen Friedhof und einem Verbindungsgeleise zum Betriebsbahnhof und zur elektrischen Centralstation. Die gesammte Geleiselänge beträgt 16 *km*, die gesammte Bahnlänge 8·5 *km*, von denen augenblicklich bereits 6 *km* im Betrieb stehen. Die Steigungsverhältnisse der Bahn sind sehr ungünstige; Steigungen zwischen 40‰ und 50‰ kommen wiederholt vor, und die größte, mehrere 100 *m* lange Steigung beträgt sogar 67·5‰. Auch die Kurvenverhältnisse sind schwierige; ein Minimalradius von 15 *m* kommt wiederholt vor. Der Oberbau der Bahn besteht aus Rillenschienen von der Type Phönix; der laufende *m* wiegt 32·5 *kg*. Die mit eisernen Spurstangen verbundenen, 1400 *mm* hohen Schienen sind direkt auf einem Schotterbett gelagert. Der elektrische Strom wird oberirdisch zugeführt. Die aus Hartkupfer bestehenden Arbeitsdrähte sind mitten über den Geleisen ausgespannt. Die Querdrähte sind je, nach dem Charakter der betreffenden Straße, an architektonisch ausgebildeten, eisernen Säulen an einfachen, hölzernen Masten oder an Mauerfalten befestigt. Der elektrische Strom, dessen primäre Spannung 500 Volt beträgt, wird, sowie es Fig. 274 zeigt, mittelst Kontaktbügel, die auf den Dächern der Motorwagen federnd befestigt sind, abgenommen und zum Motor geleitet. Die Rückleitung des Stromes erfolgt durch die Schienen, welche zu diesem Zwecke an den Stößen kupferne Verbindungen haben. Für die Bahn sind vorläufig 16 Motorwagen bestimmt, wovon zunächst die Hälfte in Betrieb stehen. Die Wagen sind zweiklassig die Motoren 25pferdig. Die Uebertragung auf die Achsen erfolgt mittelst Ketten. In der elektrischen Centralstation sind zunächst 2 Röhrendampfkessel von je 220 m^2 Heizfläche und 2 liegende Compound-Dampf-

maschinen mit Kondensation aufgestellt. Jede Dampfmaschine leistet 200 effektive *PS* und treibt eine mit ihr direkt gekuppelte Innenpolmaschine des bekannten Systemes der Firma Siemens & Halske an.

Die elektrische Bahn von B. Egger & Co. in Gmunden. Die im Juli 1894 fertig gestellte Bahn hat eine Länge von 2·6 *km*, die größte Steigung beträgt 95‰, der kleinste Krümmungsradius 40 *m*, die maximale Fahrgeschwindigkeit in der Ebene 25 *km*, auf der maximalen Steigung 8 *km* in der Stunde. Die erste Einrichtung besteht aus 3 Motorwagen für je 36 Personen. Jeder Wagen besitzt 2 Serienmotoren zu je 20 *PS*; jeden Wagen treibt eine Wagenachse mittelst doppelter Zahnradübersetzung an. Beim Anfahren werden beide Motoren hintereinander, bei schneller Fahrt parallel geschaltet. Das Gewicht eines belasteten Wagens stellt sich auf etwa 8000 *kg*. Die Stromzuleitung erfolgt durch eine oberirdische Leitung, oberhalb der Mitte der Geleise, welche auf Konsolen an Hartgummiisolatoren von 35 zu 35 *m* befestigt ist, die von Masten getragen werden. Die Arbeitsleitung besteht aus Hartkupferdraht von 8·25 *mm* Durchmesser, 40 *kg* Bruchfestigkeit und 0·018 specifischer Leitungsfähigkeit. Von der Wagendecke aus schleift eine Kontaktleitung, vermittelst einer Rolle, auf der Stromzuleitung. Die Rückleitung des Stromes erfolgt durch die Schienen, welche an den Stößen durch verzinkte Kupferdrähte leitend verbunden sind. Die Kontaktleitung ist, der Sicherheit des Betriebes halber, in 2 Abtheilungen getheilt; jede Abtheilung enthält einen automatischen Strom- und Widerstandsregulator, Patent Ernst Egger und Ferdinand A. Wessel, in unmittelbarer Nähe der Primärmaschine. Der Automat, ein elektrischer Regulirapparat, ist im Wesentlichen dadurch gekenntzeichnet, indem er sich vermöge seiner Konstruktion derart einstellt, dass seinen, als Regulator wirkenden Theil, während dessen Thätigkeit in der Gleichgewichtslage, immer eine konstante Stromstärke durchfließt, wobei er einen jeweilig zweckentsprechenden Widerstand zu einem bestimmten, gegebenen Zwecke in die Leitung einschaltet. Der Regulator stellt im Stromkreise, sowohl eine konstante Stromstärke als auch eine konstante Spannung ein. Aendern sich die Stromstärke und die Spannung, dann ändert sich auch die, den Regulirapparat durchfließende Stromstärke, stört den Gleichgewichtszustand desselben und damit seine Ruhelage. Die so resultirende Bewegung bewirkt die Aenderung von eingeschalteten Widerständen solange, bis einerseits der Regulirapparat wieder von der eingestellten konstanten Stromstärke durchflossen wird und sich andererseits in Folge dessen im Stromkreise wieder die gewünschte Stromstärke, beziehungsweise Spannung eingestellt hat.

Zu dem Punkte höchster Steigung zweigt, hinter einem Automat, zur Erreichung eines besonderen Spannungsausgleiches, eine Speiseleitung ab.

Im Maschinenhause stehen 2 Dampfmaschinen, 2 Kessel und 2 Dynamo zu je maximal 50 *PS*. Die primären Maschinen sind übercompoundirt; sie geben bei Leerlauf 500 Volt, bei Belastung 550 Volt.



Fig. 275.

Blitzschutzvorrichtungen schützen die ganze Anlage gegen Blitzgefahr; dieselben befinden sich sowohl auf der ganzen Linie als auch in den einzelnen Motorwagen. Die Blitzschutzvorrichtung in dem Motorwagen sind einerseits an die Stromzuleitung, andererseits an das Maschinenuntergestell angeschlossen.

Fig. 275 veranschaulicht das System der oberirdischen Stromzuführung mittelst Rollenkontakt nach Thomson-Houston. Zu beiden Seiten des Geleises stehen Maste, zwischen welchen Seile gespannt sind; letztere dienen zur Befestigung der Hin- und Rückleitung des Stromes. Von der Wagendecke aus führt eine Stange zu zwei Kontaktrollen

welche an der unteren Fläche der Leitung rollen. Jede Wagenachse wird durch einen besonderen Elektromotor, vermittelst doppelter Zahnradübersetzung, angetrieben. In jedem Wagen sind Blitzschutzvorrichtungen Patent Thomson-Houston vorhanden.

In Fig. 276 ist ein elektrischer, amerikanischer Omnibus abgebildet. Dieses Bild versinnlicht einen elektrischen Motorwagen ohne Schienen. Aus der Maschinenstation führt der Strom in die Leitungen,

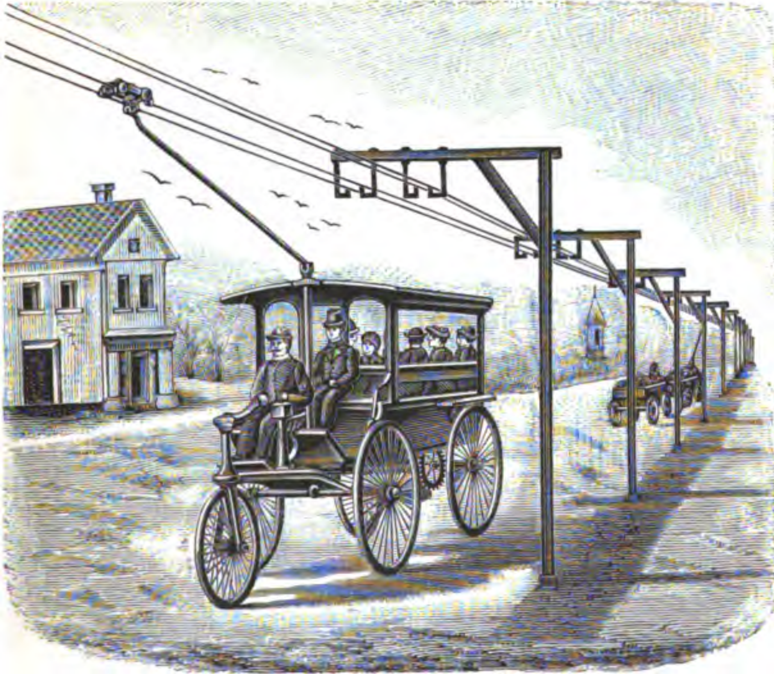


Fig. 276.

welche von Leitungsstangen, vermittelst Konsolen, getragen werden. Ein Kontaktwagen führt den Strom aus einer Leitung in den Elektromotor und von diesem zur zweiten Leitung zurück. In der Figur sind 4 Leitungen angebracht, so dass der Verkehr zweier Wagen unabhängig voneinander, in derselben, oder in entgegensetzten Richtungen, ermöglicht erscheint.

Fig. 277 gibt das Bild eines Kontaktwagens wieder. Vier Rollen ersetzen die 4 Räder eines Wagens. Die Rollen ruhen auf der Leitung. Die beiden Rollen auf der einen Längsseite des Wagens sind von den beiden Rollen auf der zweiten Längsseite des Wagens isolirt. Während

der Strom von der einen der beiden Rollen dem Elektromotor zugeleitet wird, tritt derselbe von den beiden anderen in die Leitung zurück.

3. Unterirdische Stromzuführung. Das System der unterirdischen Stromzuführung muss überall dort Verwendung finden, wo oberirdische Leitungen untersagt sind. Bei diesem Systeme wird der Strom dem Elektromotor durch unterirdische Kanäle zugeführt. Innerhalb der, unterhalb der Schienen ausgeführten, Kanäle sind die Leitungen isolirt aufmontirt, von welchen die Zuleitung des Stromes zu dem Elektromotor durch Kontaktvorrichtungen erfolgt. Die unterirdische Stromzuführung



Fig. 277.

besitzt den Vortheil, dass alle Leitungsstangen wegfallen, dagegen den Nachtheil höherer Anlagekosten. Nach diesem System wurden ausgeführt:

Die Versuchsstation von Bentley & Knight in Cleveland. Die unterirdische Zuleitung führte durch einen Holzkanal, welcher sich zwischen den Schienen befand.

Die elektrische Eisenbahn in Blackpool. Die Zuleitung des Stromes erscheint in einem Kanale auf Isolatoren befestigt. Die Rückleitung erfolgt durch die Schienen.

Fig. 278 zeigt eine unterirdische Stromzuführung mittelst Kontaktwagen; von dem letzteren, welcher auf den Stromschienen rollt, tritt der Strom, unter Vermittelung eines Schleifkontaktes, in den Elektromotor des darüber befindlichen Wagens ein.

Als Muster einer Bahn mit unterirdischer Stromzuführung kann die, von der Firma Siemens & Halske[1]) ausgeführte, Budapester elektrische Stadtbahn betrachtet werden, die seit dem Jahre 1889 im Betrieb steht. Die Straßenoberfläche unterscheidet sich fast in Nichts

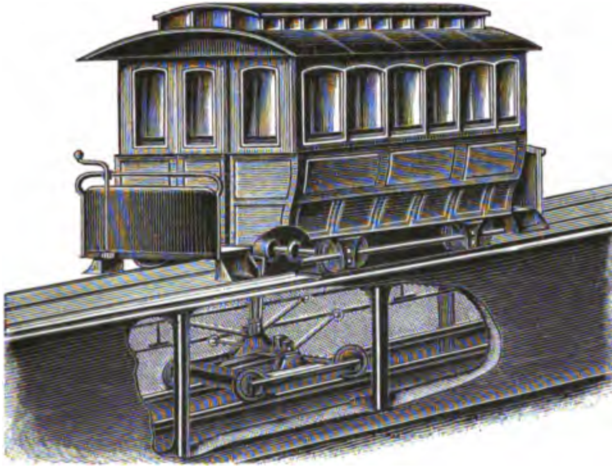


Fig. 278.

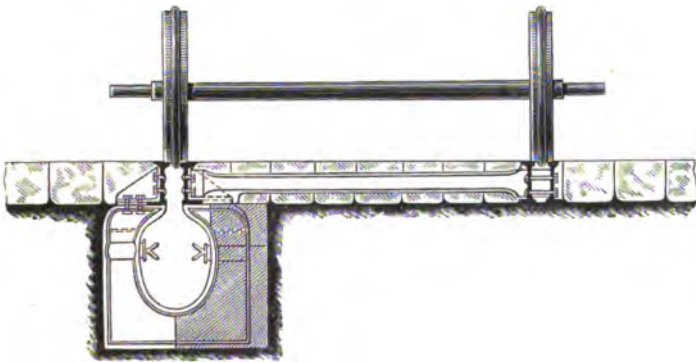


Fig. 279.

von der einer gewöhnlichen Straßenbahn. Wie bei einer solchen sind für jedes Geleise zwei Schienen im Straßenpflaster vorhanden.

Die Zuführung des elektrischen Stromes erfolgt in einem unterirdischen Kanal, welcher sich unter einer Fahrschiene des Geleises erstreckt. Aus Fig. 279 ist der Querschnitt des Unter- und Oberbaues

[1]) Nach dem Bautechniker.

zu ersehen. Vom Kanal gelangt der Strom durch ein am Wagen befestigtes Kontaktschiff zur Dynamomaschine des Wagens.

Der Kanal für die Zuführung des elektrischen Stromes hat ein eiförmiges Profil von 28 *cm* lichter Weite und von 23 *cm* lichter Höhe. Er ist in seinem Scheitel, entsprechend der Rille und der darüber liegenden Fahrschiene, aufgeschlitzt, so dass also die Rille der Schiene in ihrer ganzen Länge mit dem Kanal unter der Schiene in Verbindung steht. Dieser Schlitz hat in Budapest normal 33 *mm* Breite, könnte aber auch noch wesentlich schmäler gehalten werden. Die Konstruktion des Kanales ist in der Weise bewirkt, dass in Abständen von 1·20 *m* gusseiserne Rahmen von 18 *cm* Breite aufgestellt werden, welche dem Profil des Kanales entsprechend geformt sind. Diese eisernen Rahmen dienen zuerst als Rippen des Kanales, weiters zur Unterstützung und Befestigung der Fahrschienen und endlich zur Befestigung von Isolatoren für die Anbringung der elektrischen Leitungen in dem Kanale.

Der Kanal selbst, dessen Sohle sich in der gleichbleibenden Tiefe von 57 *cm* unter dem Pflaster beziehungsweise der Schienenoberkante hinzieht, ist zwischen dem eisernen Rahmen aus Stampfbeton ausgeführt, indem die Rahmen beim Bau als Schablonen und später gleichsam als Verstärkungsrippe dienen.

Die Fahrschienen, welche den Einzelschienen des bekannten Haarmann-Oberbaues einigermaßen entsprechen, sind auf den eisernen Rahmen, welche zu ihrer Unterstützung dienen, mittelst schmiedeisener Winkelachsen, verschraubt. Letztere verhindern, dass der zwischen den Schienen verbleibende, 33 *mm* breite, offene Schlitz durch auftretende, seitliche Stöße darüber fahrender Straßenlasten oder durch seitlichen Druck des Pflasters verengert wird.

Zwischen den Rahmen bilden die Fahrschienen gleichsam die Decke des Kanales. Das Widerstandsmoment der einzelnen Schiene muss deshalb so groß bemessen werden, dass diese in der Mitte zwischen zwei unterstützenden Rahmen die größte vorkommende Straßenlast noch zu tragen vermag.

In den Leitungsflächen der eisernen Rahmen sind — dem Kanal zugekehrt — hülsenförmige Porzellan-Isolatoren eingegossen, welche in dem Kanal die elektrischen Leitungen tragen. Zur Isolirung der Leitung wird ein Gemisch von Schwefel und Caput mortuum benützt.

Die Leitungen bestehen aus Winkeleisen. Es sind den beiden Kanalwänden entsprechend zwei Leitungen angeordnet, von denen die eine zur Hinleitung des elektrischen Stromes, die andere zur Rückleitung desselben dient.

Die Leitungen liegen vollkommen geschützt unter den Fahrschienen, so dass sie von oben durch den Schlitz weder gesehen, noch berührt

werden können; sie liegen weiters entsprechend hoch über der Sohle des Kanales, damit das in dem Kanal sich etwa ansammelnde Tagewasser unter denselben abfließen kann, ohne mit ihnen in Berührung zu kommen. Um den Abzug des, in dem Kanal sich sammelnden Wassers zu ermöglichen, sind in entsprechenden Entfernungen neben dem Kanal Sammelschächte angeordnet, von welchen aus das zusammenfließende Wasser, nach Abscheidung des etwaigen Schlammes, in die Straßenkanäle abgeführt wird. In Fig. 280 ist das System der elektrischen Bahn mit unterirdischer Stromzuführung zur Anschauung gebracht.

Da die Fundamentsohle des beschriebenen Leitungskanales nur 72 *cm* unter der Schienen-, beziehungsweise der Pflasteroberkante liegt,

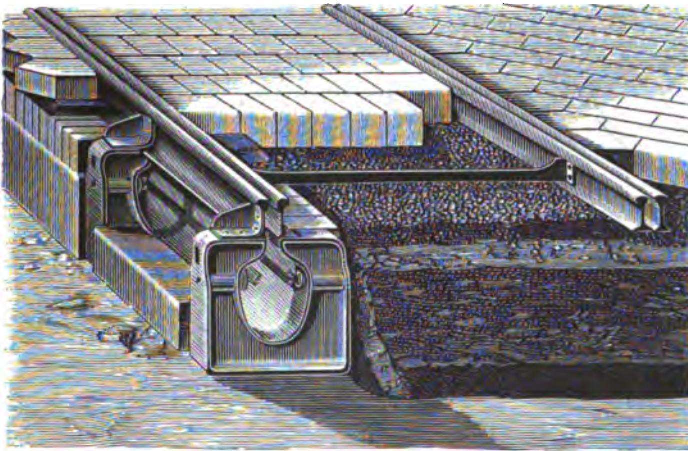


Fig. 280.

so ist jede Beeinträchtigung der städtischen Kanäle und Rohrleitungen durch den Leitungskanal der Bahn ausgeschlossen.

Die zweite Schiene des Bahngeleises, unter welcher sich kein Leitungsdraht erstreckt, kann nach einem beliebigen Oberbau-System als Phönix-Schiene oder als einfache Vignolschiene ohne Rille, eventuell sogar nur als einfache Flachschiene ausgeführt werden.

Der elektrische Wagen unterscheidet sich äußerlich von einem gewöhnlichen Straßenbahnwagen fast gar nicht. Er hat selbstverständlich an den Enden keinerlei Zugsvorrichtung, wohl aber an jeder Kopfschwelle des Untergestelles je einen Puffer, welcher gleichzeitig mit einer Einrichtung zur Kuppelung mehrerer Wagen zu einem Zuge versehen ist.

Unter dem Wagen, zwischen beiden Wagenachsen, liegt die Wagenmaschine (sekundäre Dynamomaschine) in einem Schutzkasten eingeschlossen, Fig. 281. Die Dynamomaschine überträgt die Umdrehung ihres Ankers mittelst eines Vorgeleges auf die eine Wagenachse, welche dadurch zur Triebachse wird. Neuerdings laufen auch Wagen, bei welchen der Antrieb von der Maschinenachse direkt auf die Wagenachse erfolgt. Zur Uebertragung von der Dynamomaschine auf die Wagenachse werden Glieder-Ketten verwendet. Unter den Perrons

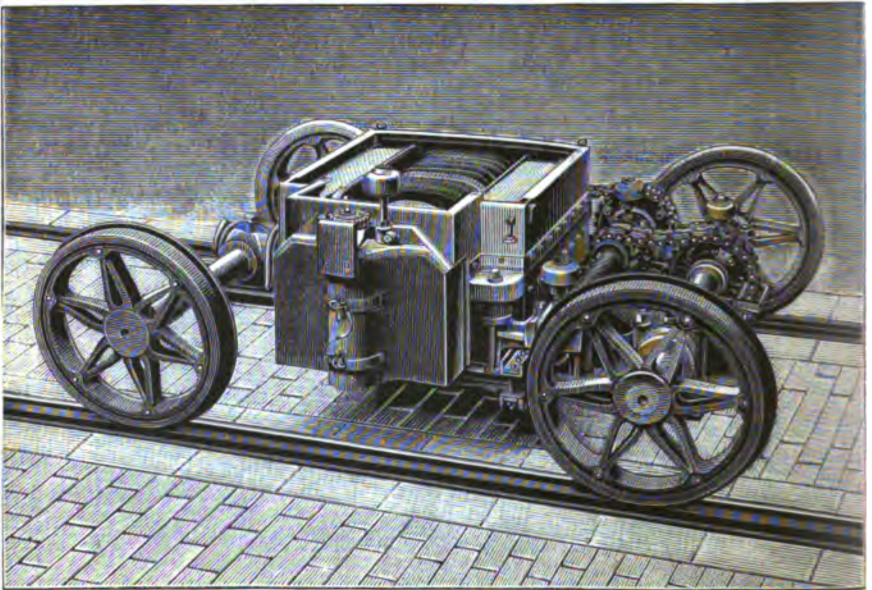


Fig. 281.

des Wagens liegen die Widerstände, durch deren Ein- und Ausschaltung eine Veränderung in der Geschwindigkeit des Wagens ermöglicht wird. in 4 Gruppen vertheilt. Neuerdings ist es gelungen, mit nur zwei Gruppen von Widerständen das Auslangen zu finden; ferner werden jetzt auch Wagen konstruirt, bei welchen die Dynamomaschine um die Wagenachse angeordnet erscheint.

Das Ein- und Ausschalten der Widerstände erfolgt durch den, unter dem Sitze eines Perrons in einem Kasten aufgestellten Einschaltecylinder, welcher von jedem der beiden Perrons aus mittelst der dort befindlichen Schaltkurbel bethätigt werden kann. Durch dieselbe Schaltkurbel besorgt der Wagenführer auch das Ein- und Ausschalten der

Maschine, und zwar kann derselbe durch das Vor- und Rückwärtsdrehen der Kurbel die Umdrehung des Ankers der Maschine in der einen oder anderen Richtung und dementsprechend die Bewegung des Wagens in beiden Fahrrichtungen erfolgen lassen. Neuestens hat der Ein- und Ausschalter eine flache, dosenförmige Gestalt bekommen und wird durch einen Hebel, den der Wagenführer in der linken Hand hält, in ähnlicher Weise in Thätigkeit gesetzt wie der Reversirhebel einer Dampflokomotive.

Damit es nicht vorkommen kann, dass Personen unter die Wagen gerathen, sind dieselben an beiden Stirnseiten mit besonders konstruirten Schutzrechen versehen, welche um eine horizontale Achse drehbar derart angebracht sind, dass sie eben über das Pflaster und das Geleise ohne Berührung hinweggleiten. Wenn irgend ein Hindernis im Wege liegt, so werden diese Rechen, entgegen der Spannung, von kräftigen Spiralfedern niedergedrückt und legen sich nunmehr mit ihrem, aus Kautschuk hergestellten, elastischen Rande dicht an das Pflaster an, wobei sie das Hindernis erst vor sich hin und schließlich nach der Seite schieben. Diese Rechen haben sich bisher jedesmal, und zwar in zwei Fällen vollkommen bewährt, indem Personen, welche durch ihre eigene Unvorsichtigkeit zu Fall kamen, ohne irgend welche ernste Beschädigung, zur Seite geschoben wurden.

Der Betrieb der elektrischen Wagen erfolgt in der Weise, dass der, in einer für alle Linien gemeinsamen Centralstation erzeugte elektrische Strom, welcher 300 Volt Spannung hat, durch die im Kanal längs der Bahn befindlichen Leitungswinkeleisen fließt. Die Zu- beziehungsweise Rückleitung des elektrischen Stromes von diesen Leitungswinkeleisen zu beziehungsweise von der Wagenmaschine geschieht in der Weise, dass sich unter jedem Wagen, zwischen den beiden einander gegenüberstehenden Leitungswinkeleisen im Kanal, ein Kontaktschiff befindet, welches am Wagen befestigt ist und daher mit demselben fortgezogen wird. Die Pole dieses Kontaktschiffes sind entsprechend mit der Wagenmaschine leitend verbunden. Die Wagen werden direkt von den Leitungswinkeleisen aus elektrisch beleuchtet.

Der Wagenführer hat in der linken Hand den Hebel des Ein- und Ausschalters, in der rechten die Kurbel der Bremse und bethätigt mit dem Fuße die Alarmglocke.

Selbstverständlich können auf demselben Geleise mehrere Wagen unabhängig von einander gleichzeitig auch in verschiedenen Fahrrichtungen verkehren. Auf allen Strecken des ganzen Netzes sind gegenwärtig 60 bis 70 Wagen gleichzeitig im Betriebe. Wenn unterwegs ein Kontaktschiff Schaden leiden und den Dienst versagen sollte,

so wird der Wagen an den nächstfolgenden gekuppelt, und auf dem Bahnhofe das schadhafte Kontaktschiff ausgewechselt.

Derzeit stehen folgende Linien im Betrieb:

1. Die Barossgassenlinie (früher Stationsgassenlinie genannt) seit 30. Juli 1889. Diese ist 2·5 *km* lang, wovon 1·5 *km* zweigeleisig und 1 *km* eingeleisig sind.

2. Die Podmaniczkygassenlinie seit 10. September 1889. Diese Linie ist 3·5 *km* lang und fast durchwegs zweigeleisig.

3. Die Ringstraßenlinie seit 6. März 1890 vom österreichisch-ungarischen Bahnhofe bis zur Kerepeserstraße, seit 7. August 1890 weiter bis zur Uellöerstraße und seit 4. Juni 1892 bis zum Borárusplatz. Sie ist 3·1 *km* lang, vom Westbahnhofe der kgl. ungarischen Staatsbahnen bis zur Uellöerstraße zweigeleisig und von da an vorläufig eingeleisig.

4. Die Königsgassenlinie, welche eine Länge von 1·93 *km* besitzt und größtentheils zweigeleisig ist. Eine Erweiterung dieser Linie befindet sich im Bau. Außerdem ist in Ausführung begriffen:

5. Die Umwandlungen der bis jetzt mit Dampflokomotiven betriebenen Straßenbahn nach Steinbruch und dem neuen Friedhof (sogenannte Friedhoflinie) in eine elektrische Bahn mit oberirdischer Stromzuführung. Der Bau auf der rund 10 *km* langen Linie hat bereits begonnen. Aus lokalen Rücksichten — wie z. B. Straßenregulirungen und mangelnde Kanalisirungen — wird auch im Weichbilde der Stadt provisorisch das oberirdische System hier angewendet, doch soll in einer späteren Zeit, innerhalb der Stadt, das unterirdische System Verwendung finden.

6. Endlich wird die Kailinie zum Ausbaue gelangen, welche sich beim Elevator an die Ringstraßenlinie und bei der Akademie an die Podmanickygassenlinie anschließen soll.

Die gesammte Geleislinie beträgt heute 24 *km*. Der Minimalabstand der Geleisachsen von den benachbarten Trottoirkanten beträgt 3·22 *m*, die kleinste Fahrdammbreite der eingeleisigen Strecken ist 7·33 *m*, die der zweigeleisigen 11·19 *m*. Die schärfsten Kurven haben einen Radius von 45 *m*, ausnahmsweise sogar 22 *m*. Die größte bei der elektrischen Stadtbahn vorkommende Steigung, 19‰, ist zu gering, als dass die Leistungsfähigkeit der Wagen in dieser Hinsicht zu Geltung käme. Es wurde jedoch versuchsweise vor dem Heizhause auf dem Betriebsbahnhofe Steinbrucherstrasse eine künstliche Rampe von 1 : 10 gebaut, um zu konstatiren, ob und mit welcher Geschwindigkeit man auf derselben noch fahren kann. Diese Versuche ergaben sowohl für das Fahren wie auch für das Anfahren der vollbeladenen Wagen vollkommen zufriedenstellende Resultate. Bemerkenswert ist hierbei, dass

die Thalfahrt ohne Bremse erfolgt, u. zw. dadurch, dass man die Wagenmaschine ausschaltet und als Primärmaschine zur Bremsung des Wagens verwendet.

Es sei an dieser Stelle erwähnt, dass sich die Baukosten der Bahn, je nach den Terrainverhältnissen, auf fl. 30.000 bis 40.000 für 1 *km* stellten.

Die Centralstation, von welcher aus der Betrieb des gesammten Netzes der elektrischen Bahn erfolgt, befindet sich in der Gärtnergasse. In dem Kesselhause der Centrale sind 5 Wasserrohr-Dampfkessel, zu je 98 m^2 Heizfläche aufgestellt, von welchen 3 im normalen Betriebe sind. In dem Maschinenhause der Centrale stehen 3 ältere Dampfmaschinen zu je 100 Pferdekräften und 3 zugehörige Dynamomaschinen, welche von den Dampfmaschinen mittelst Hanfseilen angetrieben werden. Ferner sind mit Rücksicht auf die in Aussicht genommene Erweiterung des Netzes und mit Rücksicht auf die beabsichtigte Einführung des elektrischen Betriebes auf der Friedhoflinie 3 Stück je 200 Pferdekräfte starke Dampfmaschinen mit direkt auf derselben Welle gekuppelten Dynamomaschinen bereits vorhanden, welche gegenüber den plötzlichen Entlastungen und Belastungen beim Betriebe regulirbar sind. Sämmtliche Dampfmaschinen sind Compoundmaschinen mit Kondensation.

Das erforderliche Kondensationswasser liefern 2 Brunnen, von welchen der eine sich im Hofe der Centrale befindet, während der zweite auf dem Straßendreieck bei der Kreuzung der Ringstraße, der Tabakgasse und der Gärtnergasse ausgeführt ist. Mit Rücksicht auf den Umstand, dass die Brunnen im Hochsommer nicht genügend Kondensationswasser liefern, wurde im Hofe der Centrale eine Gradirwerks-Anlage ausgeführt, mittelst welcher das von den Dampfmaschinen kommende Kondensationswasser gekühlt wird, um von Neuem wieder zur Kondensation Verwendung zu finden. Die zu dem Gradirwerk gehörigen Centrifugalpumpen und Ventilatoren werden mittelst eines Elektromotors angetrieben.

Der von den Dynamomaschinen in der Centrale erzeugte Strom führt zunächst in die Sammelschienen eines im Maschinenhause angeordneten Schaltbrettes und von hier aus mittelst eisenbandarmirter Patentbleikabel, welche in die Erde eingebettet sind, getrennt zu den einzelnen Bahnlinien.

Vom Schaltbrett der Centralstation führen besondere Kabel einerseits nach der Kreuzung der Podmanickygasse mit der Ringstraße, andererseits nach der Kreuzung der Barossgasse mit der Ringstraße, und drittens nach der Ringstraße, Ecke der Tabakgasse. Auch die Königsgassenlinie hat besondere Zuleitungskabel aus der Centrale er-

halten, welche bei der Valerogasse an die Leitungen der Bahn angeschlossen sind.

An den Anschlusspunkten der Kabel an die einzelnen Bahnlinien sind Vertheilungskasten angeordnet, aus denen die einzelnen Geleise der verschiedenen Bahnlinien mit kurzen Zuleitungskabeln Strom erhalten.

Es sei noch bemerkt, dass von denselben Dynamomaschinen, welche den Strom zum Bahnbetrieb liefern, an den Tageszeiten mit schwachem Verkehr ein größerer, in der Centrale aufgestellter Sammler geladen wird. Dieser Sammler dient zur elektrischen Beleuchtung der Bureauräume, des Maschinen- und Kesselhauses und des Hofes. Nach Schluss des Bahnbetriebes, wenn die Maschinen abgestellt sind, werden von dem erwähnten Sammler die beiden Betriebsbahnhöfe in der Arenastraße und Steinbruchergasse, behufs Reinigung und Revision der Wagen, mittelst Bogenlicht beleuchtet. Als Leitungen von dem Sammler nach den Betriebsbahnhöfen dienen dieselben Leitungen, welche während des Tages den Strom für den Bahnbetrieb leiten. Die Beleuchtung der beiden Betriebsbahnhöfe während des Bahnbetriebes erfolgt direkt von den Leitungsschienen der Bahn aus.

Die Betriebsbahnhöfe für die Unterstellung und Revision der Wagen sind:

1. Der Bahnhof in der Arenastraße nahe dem Endpunkte der Podmanickygassenlinie.

2. Der Bahnhof in der Steinbruchergasse am Ende der Barossgassenlinie, wo die letztere mit der Friedhoflinie verbunden ist.

In dem Betriebsbahnhofe Arenastraße sind die Wagen für den Verkehr auf der Podmanickygasse, auf der Königsgassenlinie und ein Theil der Wagen für die Ringstraßenlinie untergebracht. Es besteht daselbst ein Wagenschuppen für 30 Wagen; eine offene Halle für 6 Wagen und eine Erweiterung der Wagenremise für weitere 25 Wagen sind erst kürzlich fertiggestellt worden.

Die Bedienung der Wagenschuppen erfolgt durch Schiebebühnen, von welchen aus Geleisverbindungen mit der freien Strecke der Podmanickygassenlinie bestehen. Die Wagenschuppen stehen durch eine Schiebebühne mit einem Reparaturschuppen für 4 Wagen in Verbindung. In der anschließenden Reparaturwerkstätte sind die nothwendigen Arbeitsmaschinen für kleinere Reparaturen aufgestellt und zwar: eine Räderdrehbank, eine Supportdrehbank, eine Schapingmaschine und eine Bohrmaschine.

Der Antrieb dieser Maschinen erfolgt durch einen Elektromotor, welcher den Strom aus den Leitungen für den Bahnbetrieb entnimmt.

Die Revision der Wagen geschieht in den Wagenschuppen, welche zu dem Zwecke so eingerichtet sind, dass die unter dem Wagen liegenden maschinellen Theile der letzteren von unten leicht zugänglich sind.

Der Betriebsbahnhof in der Steinbruchergasse dient zur Aufnahme der Wagen für die Barossgassenlinie und für die Friedhofslinie. Auch ein Teil der Wagen für die Ringstraßenlinie ist daselbst untergebracht. In diesem Betriebsbahnhofe befindet sich außerdem das Heizhaus für die Lokomotiven der Friedhofslinie und eine Wasserstation.

Der Wagenpark für die hier aufgezählten Linien umfasst einstweilen 62 elektrische Motorwagen, 8 Beiwagen, welche gegenwärtig in Motorwagen umgewandelt werden und 9 große Personenwagen für die Friedhofslinie.

Das Bureau der Centrale, die beiden Betriebsbahnhöfe, die Wartehalle an der Ecke der Podmanickygasse und Ringstraße, sowie die größeren Stationen der Friedhofslinie sind mittelst einer Telephonanlage mit einander verbunden. Die Telephoncentrale befindet sich in dem Bureau in der Gärtnergasse. Im Inneren der Stadt sind ausschließlich induktionsfreie Telephonkabel verlegt worden und zwar in demselben Graben, in welchem der Leitungskanal ausgeführt ist; auf den äußeren Strecken der Friedhofslinie dagegen sind oberirdische Telephonleitungen zur Ausführung gekommen.

Verhältnisse und Ergebnisse des Betriebes. Seit dem Juli 1889 konnte der Betrieb anstandslos geführt werden; selbst bei den mehrfachen starken Schneefällen der letzten Jahre, wo wiederholt alle anderen Verkehrsmittel versagten, hat die elektrische Eisenbahn unverdrossen ihren Dienst gethan.

Die Fahrgeschwindigkeit wurde von den Behörden wie folgt festgesetzt. Die Maximalgeschwindigkeit ist 15 *km* in einer Stunde. Dieselbe kann jedoch auf der äußeren Podmanickygasse auf 18 *km* erhöht, muss aber in gewissen schmäleren Gassen, wo der Verkehr besonders lebhaft ist, auf 6 *km* in 1 Stunde ermäßigt werden.

Bei Berücksichtigung der Aufenthalte ergibt sich daher eine Bruttogeschwindigkeit von 12—13 *km* in 1 Stunde, also ungefähr die doppelte Geschwindigkeit der Wiener Tramway, welche bekanntlich mit einer Bruttogeschwindigkeit von 6—7 *km* in 1 Stunde fährt. Diese relativ hohe Geschwindigkeit gestatteten die Behörden erst dann, nachdem über die Wirkung der Bremsen mit und ohne Zuhilfenahme des Rückstromes ausgedehnte Versuche, welche ausgezeichnete Resultate ergeben haben, angestellt wurden.

So kam z. B. ein durch Gewichte auf volle Last beschwerter Wagen bei Glatteis und einer Geschwindigkeit von 22 *km* in 1 Stunde auf 8 *m* Entfernung zum Stillstande.

In Folge der größeren Fahrgeschwindigkeit gegenüber derjenigen bei Pferdebahnen ist die Ausnützung des Wagenparkes eine sehr günstige. Es leistet jeder Wagen täglich 120 bis 130, ja sogar bis 150 Wagenkilometer bei einem 16stündigen Tagesbetrieb.

Die Wagen fahren in Intervallen von etwa 2 Minuten, welche an verkehrsreichen Tagen auch noch verkürzt werden.

Die Frequenz der Bahn ist im fortwährenden Steigen begriffen.

Im Jahre 1891 beförderte die elektrische Stadtbahn 8,619.215 Personen, legte 1,489.410 Wagenkilometer zurück und nahm fl. 542.283·03 ein. Im Jahre 1892 wurden bereits 10,714.661 Personen befördert, 2,102.720 Wagenkilometer geleistet und eine Einnahme von 717.000 fl. erzielt. Es betrug demnach im Jahre 1892 die Zahl der beförderten Personen für 1 Wagenkilometer 5·10, die Einnahmen für 1 Wagenkilometer fl. 34·10 und die Einnahmen für 1 beförderte Person 6·69 kr.

Was die Leistungsfähigkeit der elektrischen Bahn betrifft, wenn es sich darum handelt, einen großen Verkehr zu bewältigen, so sei erwähnt, dass am Pfingstsonntage des Jahres 1893 über 68.000 Personen befördert worden sind.

Aus einer vergleichenden Zusammenstellung der Betriebsergebnisse der Budapester elektrischen Stadtbahn und der Budapester Pferdebahn für das Jahr 1891, welche in dem amtlichen Blatte „Vasuti és közlekedési közlöny“ enthalten war, geht hervor, dass die Einnahme bei der elektrischen Bahn für 1 beförderte Person 6·28 kr. und bei der Pferdebahn 8·50 kr. betrug. Die Tarife der elektrischen Bahn sind im Durchschnitte niedriger, als bei der Pferdebahn. Die Frequenz für 1 *km* Betriebslänge ist bei der elektrischen Bahn ungefähr doppelt so groß als bei der Pferdebahn, während die Einnahmen, wegen der niedrigen Tarife, nur etwa das 1·5fache der Einnahmen der Pferdebahn betragen.

Um auch bezüglich der Betriebskosten der elektrischen Bahn einen Vergleich anzustellen, sei erwähnt, dass dieselben ausschließlich Steuern und Fahrkartenstempel bei der elektrischen Bahn für 1 Wagenkilometer 14·28 kr. und bei der Wiener Pferdeeisenbahn 28·79 kr. betragen.

Auf Grund dieser Ergebnisse wird man wohl nicht bezweifeln können, dass die höheren Anlagekosten, welche elektrische Eisenbahnen den Pferdebahnen gegenüber erfordern, in großen Städten sehr bald durch die höheren Einnahmen und die geringeren Betriebskosten reichlich aufgehoben erscheinen.

Nebenbei sei hier erwähnt, dass in den genannten Betriebskosten der elektrischen Bahn mit 14·28 kr. für 1 Wagenkilometer die Kosten des Brennmateriales zum Betrieb der Centralstation im Mittel 1·4 kr. betragen.

Man sieht daraus, dass sich die Betriebskosten nur ganz unwesentlich vermindern würden, wenn eine Wasserkraft zum Betrieb der Centralstation vorhanden wäre, und dies umsoweniger, als die Erhaltungskosten einer Wasserkraftanlage sehr bedeutende wären.

Der Oberbau der Budapester elektrischen Stadtbahn erforderte seit dem Bestand der Bahn (1889) keine Reparatur. Die Bahn ist die größte elektrische Stadtbahn des Continents. Demnächst sollen elektrische Bahnen nach dem System Siemens & Halske in Washington und Philadelphia zur Ausführung kommen. Auch für Wien ist ein Netz elektrischer Bahnen nach dem Budapester System projektirt.

II. Bahnen mit fahrbarer Elektricitätsquelle.

Das System der Bahnen mit fahrbarer Elektricitätsquelle oder das System der Akkumulatorenwagen besteht darin, dass der Elektromotor oder die Elektromotoren der Wagen von einer Elektricitätsquelle (Akkumulator) angetrieben werden, welche entweder unter den Sitzen des Wagens oder in einem eigenen Beiwagen, vor oder hinter dem Hauptwagen, untergebracht sind. Nach diesem System wurde zuerst im Jahre 1884 von Julien der Pferdebahnbetrieb versuchsweise durch den elektrischen ersetzt. Im Jahre 1887 setzte Reckenzaun in Philadelphia einen elektrischen Tramwaywagen mittelst Akkumulatoren in Thätigkeit; auch in Melbourne, Berlin, Hamburg und Paris wurden bestehende Pferdebahnen durch Akkumulatoren angetrieben. Wagen mit zwei Elektromotoren und fahrbarer Elektricitätsquelle setzte zuerst die Julien-Electric-Traction-Co. in New-York in Betrieb. Akkumulatoren-Beiwagen wurden durch das System Sandwell eingeführt.

Die besonderen Nachtheile der Akkumulatoren für den Straßenbahnbetrieb sind das große Gewicht und der Umstand, dass die Zellen leicht beschädigt werden können. Den ersteren Nachtheil sucht die Waddell-Entz-Co. in New-York durch ihre neuen Zink-Kupfer-Alkalien-Akkumulatoren, die viel leichter, als die Blei-Akkumulatoren sind, zu beheben. Diese Akkumulatoren sollen weiters beim Laden und Entladen eine konstante Spannung besitzen und müssen, z. B. mittelst Dampfheizung, auf einer Temperatur von 45 bis 50° C. erhalten werden. Die Beschädigung der Akkumulatoren verringern Beiwagen, weil die Akkumulatoren in denselben ihre feste Stellung behalten.

152. Der Wagen. Die Wagenuntergestelle sind aus den Untergestellen der Pferdebahnwagen hervorgegangen. Bei den Pferdebahnen laufen die Achsen in Lagern, welche untereinander in keiner festen Verbindung stehen; im Gegensatze hierzu sind die Lager der Motoren-

wagen durch Trägerkonstruktionen verbunden. Es entsteht so ein eigener Rahmen, auf dem ein oder zwei Elektromotoren befestigt sind. Die Achsbüchsen können sich in dem Rahmen in senkrechter Richtung auf- und abwärts bewegen. Der Rahmen trägt den bequem abhebbaren Wagenkasten leicht federnd. Die Elektromotoren sind auf dem Rahmen des Untergestelles ebenfalls federnd befestigt und umfassen an dem andern Ende die Wagenachsen mittelst Büchsen. Die Uebertragung der Bewegung von der Motor- auf die Wagenachse soll stoßfrei sein. Die große Last der Wagenausrüstung, hauptsächlich aber das große Gewicht des Motors und die Art seiner Aufhängung, bewirken ein starkes Stoßen und Hämmern der Wagen; dadurch werden die Schienen, ihre Verbindungen, die Zahnräder und selbst die Elektromotoren stark abgenützt.

Die Uebersetzung kann mittelst einfachen oder doppelten Zahnrädern, Gliederketten, Schnecken, Kegelrädern, Drahtseilen, Lederriemen, oder wenn die Motoren sehr geringe Touren machen, auch mit direktem Antrieb der Wagenachse erfolgen. Zumeist findet der Antrieb der Wagenachsen durch Gliederketten oder Zahnräder praktische Verwendung. Die Gliederketten zeichnen sich insbesondere dadurch aus, dass sie in einfachster Weise eine geräuschlose Uebersetzung herstellen, während die Zahnräder, um denselben Zweck zu erfüllen, mit Leder ausgekleidet oder genau geschnitten, ausgelaufen und gut geschmiert sein müssen. Bei der einfachen Zahnradübersetzung sitzen die beiden Zahnräder auf der Ankerwelle beziehungsweise Wagenachse. Frühere und auch neuere Konstruktionen zeigten, beziehungsweise zeigen auch doppelte und mehrfache Zahnradübersetzungen und laufen vollkommen geräuschlos. Durch die einfache Zahnradübersetzung sinkt das Hebelverhältnis zwischen Ankerwelle und Radachse etwa auf die Hälfte herab, dadurch steigt die erforderliche Zugkraft des Ankers auf das Doppelte, und da ein besonders starkes magnetisches Feld vorhanden sein muss, ist eine besonders kräftige Konstruktion des Elektromotors bedingt. Die mechanischen Verluste durch eine einfache Zahnradübersetzung betragen etwa 5%, durch eine doppelte Zahnradübersetzung rund 20% und durch eine Schnecke mit doppelter Steigung beiläufig 18%. Riemen verlangen einen besonderen Schutz gegen Feuchtigkeit.

Eine bemerkenswerte Konstruktion zeigt der Bahnelektromotor von Siemens & Halske, Fig. 281; seine Aufhängung erfolgt unabhängig vom Wagenoberkasten direkt an den Laufachsen durch einen Riemen, der jede Bewegung der Achsen gegeneinander gestattet, weil zwei Punkte dieses Rahmens unverrückbar mit der einen Achse, der dritte aber nach allen Richtungen beweglich mit der zweiten Achse verbunden sind.

Siemens & Halske, Eickmeyer, Rae, Sperry & Short van Depoele u. A. rüsten ihre Wagen mit einem, Thomson-Houston, Sprague u. A. mit zwei Elektromotoren aus. Falls nur ein Elektromotor vorhanden ist, treibt derselbe entweder eine oder beide Wagenachsen an. Bei geringem Gewicht des Wagens erscheint es, zur Erzielung des nothwendigen Adhäsionsgewichtes, zumeist erforderlich, beide Achsen anzutreiben, da die Wagenräder bei zu niedrigem Adhäsionsgewicht auf den Schienen gleiten. Falls kein anderer Ausweg vorhanden ist, verhindert man das Gleiten der Räder durch das Aufstreuen von Sand auf die Schienen oder vermittelst auf dem Wagen untergebrachter Ballastgewichte.

Nach vielfachen Versuchen hat es sich gezeigt, dass es gar keine Schwierigkeit mehr bietet, jede Steigung zu nehmen. Nur das Bergabfahren bietet bei großen Gefällen bis heute noch nicht überwundene Hindernisse.

Bei den elektrischen Eisenbahnen erhält entweder jeder Wagen einen, beziehungsweise zwei Motoren (Motorwagen) oder es erhalten eine Reihe von Wagen eine gemeinsame elektrische Lokomotive. In neuester Zeit hat man in Frankreich Versuche angestellt, bestehende Eisenbahnzüge von einem eigenen, mit einer elektrischen Centrale ausgerüsteten Wagen aus, welcher mitfolgt, in Betrieb zu setzen. Jeder Wagen besaß einen eigenen Elektromotor, der von der Centrale aus Strom erhielt. Durch diese Versuchsanordnung sollen insbesondere hohe Fahrgeschwindigkeiten erreicht und hohe Steigungen sowie starke Krümmungen genommen werden. Die Motorwagen nehmen leicht große Krümmungen und hohe Steigungen, während Lokomotivbahnen den genannten Hindernissen nicht gewachsen sind. In jüngster Zeit finden fast ausschließlich Motorwagen praktische Verwendung, während Lokomotivbahnen hauptsächlich in der Zeit der ersten Entwicklung der elektrischen Bahnen in Europa (1879) und in Amerika (Ausstellung in Chicago 1883) Eingang fanden.

Zum Bremsen der Wagen verwendet man Rad-, Schienen- und elektrische Bremsen; da bei den beiden ersteren die Räder, beziehungsweise Schienen stark abgenützt werden, empfiehlt sich bei den elektrischen Bahnen vorwiegend das elektrische Bremsen vermittelst Rückstrom.

Sprague wenden bis 20 Motorwagen an. Die Wagen werden von den verschiedenen Firmen mit 80 und mehr Sitzplätzen ausgerüstet.

Auf dem Wagendache erscheint die Kontaktvorrichtung aufmontirt. Dieselbe besteht, wie aus den bereits beschriebenen praktischen Konstruktionen hervorgeht, aus einem Schlitten, welcher innerhalb eines

geschlitzten Rohres schleift (Seite 281) oder einem Schuh, Fig. 270 bis 273, oder einem Bügel, Fig. 274, oder einer Rolle, Fig. 275, oder einem Wagen, Fig. 276 und 277. Schuh, Bügel und Rolle werden durch eine Stange getragen, welche Federn gegen die Leitung drücken. Die Stange sitzt unmittelbar, mittelst einer eigenen Vorrichtung, auf dem Wagendache. Der Kontaktwagen wird durch ein Kabel von dem Wagen mitgenommen.

Falls der Durchmesser der Kontaktleitung stärker als etwa 6 *mm* ist, führt man häufig neben derselben eine eigene Stromleitung parallel; Strom- und Kontaktleitung sind dann stellenweise quer verbunden.

Bezüglich der Einrichtung der Akkumulatorenwagen sei auf § 151 unter II. verwiesen.

153. Die Schaltung und die Regulirung des Motors. Bei den elektrischen Eisenbahnen finden zumeist Hauptstrom- und Nebenschlussmotoren Verwendung. Während der Hauptstrommotor insbesondere rasch anfährt und große Belastungsänderungen leicht nimmt, hält der Nebenschlussmotor hauptsächlich annähernd gleiche Umdrehungen ein. Je schneller der Hauptstrommotor lauft, desto günstiger stellt sich sein Wirkungsgrad für den Bahnbetrieb.

Beim Fallen wird der Serienmotor ausgeschaltet.

Es erweist sich als von besonderer Wichtigkeit, dass die Stromkosten bei den elektrischen Bahnen nur etwa 10% der gesammten Betriebskosten bilden.

Der Nebenschlussmotor lauft mit annähernd gleichen Umdrehungen; überschreitet derselbe seine regelrechten Umdrehungen, dann gibt er Strom an die Linie ab und bremst sich selbst. Die Motoren bedürfen beim Anlaufen, sowie bei jeder Kraftübertragung, die vier- und mehrfachen Stromstärken, dagegen fast gar keine Spannungen. Zur Aufrechterhaltung der gleichen Spannung auf langen Linien finden übercompoundirte primäre Maschinen Verwendung; mit wechselnder Stromstärke steigt auch die Spannung. Da jedoch mehrere Motoren gemeinsam Strom erhalten, wird die Spannung beziehungsweise Stromstärke in allen Stromkreisen gleichzeitig anwachsen. Aus diesem Grunde arbeitet man in solchen Betrieben mit verschiedenen Spannungen in den einzelnen Leitungen.

Sind zwei Serienmotoren vorhanden, so werden dieselben beim Anlaufen beide hintereinander und später nebeneinander geschaltet. Die Magnete der Elektromotoren können auch durch Sammler erregt werden. Die Regulirung der Fahrgeschwindigkeit geschieht durch vor-

geschaltete Widerstände; da dieselben Strom tilgen, sollen sie bei regelrechter Fahrgeschwindigkeit ausgeschaltet sein. Thomson-Houston halten die Stärke des magnetischen Feldes beinahe konstant.

Der Querschnitt der Magnetwickelung wird demnach für die höchste Stromstärke und, der Windungszahl nach, für die auf horizontaler Bahn erforderlichen kleinen Stromstärken berechnet. Sprague und nach ihm die General Electric Co. zerlegen die Magnetwickelung des Hauptstrommotors in drei Abtheilungen. Durch parallel- und hintereinanderschalten der einzelnen Abtheilungen können bei dieser Regulirmethode sowohl ein annähernd konstantes magnetisches Feld als auch eine geringe Aenderung der Geschwindigkeit und des Wirkungsgrades, bei verschiedenen Belastungen, erreicht werden. Daft verwendet zur Geschwindigkeitsregulirung ebenfalls verschiedene Schaltungen der Feldmagnetspulen. Sind zwei Motoren vorhanden, so können dieselben beim Anfahren sammt einem Anlasswiderstande hintereinander geschaltet, dann der Anlasswiderstand, die Magnetwickelung eines Motors und sein Anker kurz geschlossen werden. Bei der maximalen Leistung sind die Motoren nebeneinander geschaltet.

154. Die Zugkraft und die Leistung eines Strassenbahnwagens. [1]) Die Zugkraft nimmt beim Anfahren den größten Wert an und wechselt auf derselben Strecke stark mit den Witterungsverhältnissen und mit dem Alter der Schienen.

Zugkraft $K = 15\, w\, (1 + 12{\cdot}5 \sin \Theta)$ *kg* Gew., (Siemens & Halske)

oder $K = \frac{1}{6}\, a.n.w\, (1 + 100 \sin \Theta)$ *kg* Gew., (Huber)

Leistung $L = \frac{w.n}{4600}\, (K \pm 1010 \sin \Theta)$, (Snell)

oder $L = \frac{w.n}{4200}\, (K \pm 910 \sin \Theta)$, (Sprague) worin

w = Last in Tonnen, n = Geschwindigkeit des Wagens in metern in 1 Minute, a = Coëfficient, für günstige Verhältnisse = 1, für ungünstige 1·5, K = Zugkraft für 1 Tonne Last auf ebener Bahn in *kg*. Die Zugkraft beträgt nach Snell für erhabene Schienen 5·5 bis 9, für vertiefte 13 bis 25.

Die Zugkraft hängt beim Hauptstrommotor von der Stromstärke und der Sättigung des Eisens, beim Nebenschlussmotor von den Quadraten der Klemmenspannung und Stromstärke ab.

---

[1]) Näheres C. Grawinkel und K. Strecker, Hilfsbuch für die Elektrotechnik, 1893, Seiten 454 ff.

155. Vorzüge der elektrischen Eisenbahnen im Vergleiche mit den Dampfbahnen: [1])

1. Bedeutende Ersparnis im Kohlenverbrauch.

2. Größere Sicherheit des Betriebes, weil die Regulirung der Geschwindigkeit augenblicklich vollzogen werden kann.

3. Gesundheitliche Vortheile, kein Rauch, kein Russ, keine Funken, keine Asche, kein Dampf.

4. Steigungen sind leicht zu nehmen. Die Grenze der Steigungen ist durch das Bergabfahren gegeben.

5. Kurven mit kleinem Radius bieten keine Schwierigkeiten.

6. Der Elektromotor ist einfacher als der Dampfmotor; er macht nur eine drehende Bewegung.

7. Das Adhäsionsgewicht der Elektrolokomotiven wird durch keine Extrapressungen verändert und kann deshalb ganz ausgenützt werden.

8. Bei den Motorwagen vergrößert die Nutzlast die Adhäsion, so dass das Gewicht des Wagens kleiner sein kann.

9. Die Lüftung der langen unterirdischen Tunnels erscheint, weil kein Rauch vorhanden ist, erleichtert.

10. Das Bremsen, die Beleuchtung und die Beheizung kann mittelst Elektricität erfolgen.

11. Da der Maschinenführer weniger Arbeit hat, erscheint die Sicherheit des Betriebes erhöht; durch Anwendung des Rückstromes kann ein Zusammenstoß unmöglich gemacht werden.

12. Durch die sichtbaren Bewegungen der Maschinen der Dampflocomotiven scheuen Pferde.

13. Die Kessel der Dampfbahnen müssen vor dem Betriebe längere Zeit angeheizt werden.

14. Bei den Lokomotiven werden auch in den Ruhepunkten und auf Gefällen Kohlen verbraucht.

15. Das todte Gewicht der Lokomotive und der Wagen steht bei Verwendung von nur einem Wagen mit Fahrgästen in einem sehr ungünstigem Verhältnisse zur Nutzlast.

16. Hohe Reparaturkosten der Dampfbahnen.

17. Die Wagen der Dampfbahnen können nicht rasch genug zum Stillstande gebracht werden.

18. Elektrische Bahnen stellen sich billiger als Dampfbahnen.

---

[1]) Näheres siehe Ludwig Spängler, Zeitschrift des Ingenieur und Architektenvereines und Zeitschrift für Elektrotechnik, Wien, 1892, Seiten 298 ff. und Seiten 322 ff.

Der größte Vortheil des Dampfbetriebes liegt in der großen Leistungsfähigkeit und in der Beförderung von großen Massen mit großen Geschwindigkeiten.

156. Die Vortheile der elektrischen Bahnen im Vergleiche mit den Pferdebahnen.[1])

1. Alle Unfälle, die besonders durch die Pferde entstehen (Ausgleiten u. s. w.), fallen fort

2. Der Wagen ist mehr in der Gewalt des Schaffners, er kann eventuell unter Anwendung des Rückstromes, selbst bei dem etwaigen Bruche der Bremskette, auf geringe Wegeslängen zum Stillstande gebracht werden.

3. Elektrische Wagen verursachen viel weniger Geräusch als Pferdebahnwagen.

4. Der Straßenverkehr wird durch das Fortfallen der vielen Pferde ganz erheblich entlastet.

5. Der von den Pferden aufgewirbelte Staub, die Verunreinigung der Straßen durch die Pferde, das oft wiederkehrende Ausbessern des Pflasters u. s. w. sind vermieden.

6. In Folge der größeren Geschwindigkeit, des rascheren Anhaltens und Anfahrens ist es auch möglich, dass ein elektrischer Wagen in einem Tage (zu 18 Stunden) rund 200 *km* zurücklegen kann, also 50% mehr als im allergünstigsten Falle bei Pferdebahnen. Es wird dadurch eine bessere Ausnützung der Wagen erzielt und das Publikum hat zugleich den Vortheil der schnelleren Fahrt.

7. Die Wagen können leicht elektrisch, also bedeutend besser und handlicher beleuchtet werden wie jetzt mit den häufig qualmenden Petroleumlampen.

8. An Bodenfläche für Bahnhöfe, Pferdeställe, Bodenräume wird gespart, da die Maschinenanlage keineswegs soviel Fläche beansprucht als die Pferdeställe sammt Zugehör. Der elektrische Betrieb der Bahnen vermindert weiters die Kosten für die Straßenreinigung.

9. Die Betriebskosten sind bedeutend billiger als beim Pferdebahnbetrieb.

10. Billigere Fahrpreise.

Diesen Vortheilen steht nur der Nachtheil gegenüber, dass sich die Anlagekosten der elektrischen Bahnen höher stellen als die der Pferdebahnen.

---

[1]) Lokal- und Straßenbahnwesen, IX. Jahrgang, Seite 93 ff.

III. Kapitel.

Die Kosten der elektrischen Licht- und Kraftanlagen.

I. Uebersicht.

157. Kosten der elektrischen Anlagen. Da die besonderen örtlichen Verhältnisse jeder Anlage für die Kosten der Einrichtungen maßgebend sind, sollen hier nur allgemeine Angaben und praktische Regeln Erwähnung finden, welche es Jedermann gestatten, sich in jedem besonderen Falle ein übersichtliches Bild der Kosten jeder Anlage zu entwerfen.

Die Kosten der elektrischen Einrichtungen sind:

1. Anlagekosten u. zw.:
   a) Anlage.
   b) Montage.
2. Betriebskosten u. z.:
   a) Verzinsung und Amortisation des Anlagekapitales, Gehalt des Betriebspersonales.
   b) Verbrauch an Wasser, Kohlen, Gas, Petroleum u. s. w., an Wasser zum Speisen, Kühlen oder Kondensiren, an Schmieröl und Putzmateriale, Verbrauch an Glühlampen, Kohlen für Bogenlampen und Reparatur und Ersatz einzelner Einrichtungsstücke.

II. Durchschnittspreise der elektrischen und motorischen Einrichtung.

1. Durchschnittspreise der elektrischen Einrichtung.

158. Preise von Dynamomaschinen und Elektromotoren. Die Einheitspreise (Preise für je 100 Watt) und Größen der Dynamo- und Elektromotoren fallen mit der Größe und mit den zunehmenden Umdrehungszahlen derselben in einem rascheren Verhältnis, als die Einheitspreise (Preise für 1 *HP*) und Größen der Dampfmaschinen, Gas- und Petroleummotoren. Maschinen mit Riemenantrieb sind theurer, als Maschinen mit direkter Kuppelung. Wechselstrommaschinen und Motoren stellen sich im Preise höher als Gleichstrommaschinen und Motoren.

Tabelle.

Preise von Gleichstrommaschinen mit Riemenantrieb.

Maximalleistung in Watt	Umdrehungen in 1 Minute	Gewicht in *kg*	Preis in Mark
800	2000	140	400
1600	1000	200	600
3000	900	350	900
5000	800	520	1300
8000	750	600	1670
11000	750	800	2000
16000	700	1400	2500
22000	700	1900	3000
27000	650	2200	3670
38000	650	2500	5500
50000	600	4000	6700
80000	600	6000	9000

Tabelle.

Preise von kleinen Gleichstrommotoren.

Leistung in *HP*	Erforderliche Watt	Umdrehungen in 1 Minute	Preis in Mark
1/10	140	2200	167
1/5	280	2000	250
1/2	650	1500	340
1	1100	1200	420

Die Preise der Elektromotoren sind annähernd dieselben, wie jene der Dynamo gleicher Leistungen.

Tabelle.

Preise von Wechselstrommaschinen mit Riemenantrieb.

Maximale Leistung in Watt	Umdrehungen in der Minute	Gewicht in *kg*	Preis in Mark
15000	400	1000	720
30000	400	3500	900
70000	350	5000	1500
150000	250	10000	2000
300000	100	30000	2600

Die Wechselstrommotoren haben die gleichen Preise wie die Wechselstrommaschinen derselben Leistung. Die Maschinen mit Riemenantrieb stellen sich etwa 10 % theuerer als die Maschinen mit direktem Antriebe (Dampfdynamo).

159. Preise von Wechselstromtransformatoren. Den Angaben sind kreisförmig geschlossene Transformatoren zugrunde gelegt.

Tabelle.

Preise von Wechselstromtransformatoren.

Leistung in Watt	Gewicht in *kg*	Preis in Mark
1200	50	450
3000	90	550
5000	120	700
10000	180	1100
20000	280	1500

160. Preise von Sammlern. In der folgenden Tabelle sind Mittelwerte der in der elektrotechnischen Industrie zumeist vertretenen Sammler (Seite 52 ff.) angegeben.

Tabelle.

Preise von Sammlern.

Kapacität in Ampère-Stunden	30	60	90	120	160	250	350	550	700	900
Preis 1 Zelle für 1 Ampère-Stunde in Pf.	60	55	45	40	40	39	37	37	37	37

161. Preise von Bogenlampen. Die Preise der Bogenlampen ändern sich hauptsächlich, außer mit der verschiedenen Ausstattung, mit der Schaltung derselben.

Serien- und Nebenschlusslampen stellen sich zumeist niedriger im Preise als Differentiallampen.

Lampen mit festem sind theuerer als solche mit veränderlichem Lichtbogen.

Die Preise der Differentialbogenlampen stellen sich etwa um 50 % höher, als die Preise der Serien- und Nebenschlussbogenlampen.

Tabelle.

Preise von vollständigen Nebenschlussbogenlampen für Gleich- und Wechselstrom.

Stromstärke in Ampère	Brenndauer in Stunden	Preis in Mark
2 bis 5	6	100
5 „ 10	8	130
10 „ 15	10	150
15 „ 20	12	165

162. Preise von Glühlampen. Die Preise der Glühlampen sammt Zugehör hängen insbesondere von der Betriebsspannung ab. Zumeist findet die Glühlampe zu 16 *NK* praktische Verwendung. Eine hochwattige Lampe zu 100 Volt, 0·5 Ampère und 800 Brennstunden kostet etwa 1 Mark, eine niederwattige Lampe zu 100 Volt, 0·388 Ampère und 250 Brennstunden (Seite 107) dagegen 1·75 Mark. Die Glühlampen zu 150 Volt sind beiläufig doppelt so theuer als jene zu 100 Volt und gleicher Normalkerzenzahl. Lampen für höhere Normalkerzenzahlen sowie Lampen für Hintereinanderschaltung haben höhere Preise als Lampen für niedrigere Normalkerzenzahlen sowie Lampen für Nebeneinanderschaltung.

Eine Glühlampenfassung ohne Ausschalter stellt sich auf etwa 1 Mark, eine solche mit Ausschalter auf etwa 2 Mark.

163. Preise von Rheostaten. Die in der Starkstromelektrotechnik zumeist in Gebrauch stehenden Rheostate sind die Hauptstrom- und Nebenschlusswiderstände in Licht- und Kraftanlagen und die Vorschaltwiderstände. Die Nebenschlusswiderstände (I. Seite 174, Fig. 212) dienen zur Regulirung des magnetischen Feldes der Nebenschluss- und Compoundmaschinen.

Tabelle.

Preise der Nebenschlusswiderstände.

Leistung der Dynamo in *HP*	Preis des Nebenschlusswiderstandes in Mark
1 bis 2	45
3 „ 20	80
20 „ 40	100
60	150
90	200

Ein Vorschaltwiderstand aus Neusilberspiralen auf einem Eisenrahmen oder einer Porzellanrolle u. s. w. für 10 Ampère kostet etwa 20 Mark. Vorschaltwiderstände, welche mit Einrichtungen zur Einstellung verschiedener Widerstände von Hand oder mit Ausschaltern oder Sicherungen versehen sind, stellen sich entsprechend höher im Preise.

164. Preise von Messinstrumenten. Von den Messinstrumenten sollen hier hauptsächlich die Ampère- und Voltmesser sowie die Elektricitätszähler Berücksichtigung finden. Die Kosten der Ampèrmesser steigen mit der Ampèrezahl, die Kosten der Voltmesser und Elektricitätszähler mit der Voltzahl. Hohe Spannungen bedingen einen hohen Widerstand der Instrumente, also viel Draht und eine besondere Isolation. Hohe Widerstände verursachen, infolge des hohen Preises dünner isolirter Drähte, verhältnismäßig große Herstellungskosten. Durchschnittspreise obiger Instrumente gibt die folgende Tabelle wieder.

Tabelle.

Preise von Messinstrumenten.

Messinstrument	Preis in Mark
Voltmesser bis 100 Volt	60
„ „ 200 „	80
Zusatzwiderstand für 1 Voltmesser von 200—500 Volt	60
Ampèremesser bis 80 Ampère	60
„ „ 300 „	80
„ „ 600 „	100
Elektricitätszähler System Aron bis 12 Ampère .	140
„ „ „ „ 25 „ .	150
„ „ „ „ 50 „ .	165
„ „ „ „ 75 „ .	175
„ „ „ „ 100 „ .	200
„ „ „ „ 150 „ .	225
„ „ „ „ 200 „ .	250
„ „ „ „ 300 „ .	300
„ „ „ „ 400 „ .	350
„ „ „ „ 500 „ .	400

Die Preise der Elektricitätszähler von H. Aron (I. Seiten 109 und 110, Fig. 117a und 117b) gelten ab Berlin ohne Verpackung

für Spannungen bis etwa 125 Volt; für je 25 Volt höherer Spannung kosten die Apparate 15 Mark mehr.

165. Preise von Schaltapparaten. Je nach der Konstruktion, mechanischen Ausführung und der Ampèrezahl stellen sich die Preise der Ausschalter sehr verschieden. Durchschnittspreise bestimmter Ausschalter gibt die folgende Tabelle an.

Tabelle.

Preise von Schaltapparaten.

Schaltvorrichtungen	Preis in Mark
Ausschalter (I. Seite 132, Fig. 109 u. 110) bis 1·5 Ampère	1·7
" " " " 3 "	2·6
" " " " 6 "	3·4
" " " " 9 "	4·3
" " " " 15 "	6·0
Hebelausschalter (I. Seite 130, Fig. 102 und 103) von 15 bis 30 Ampère	21·0
Hebelausschalter (I. Seite 130, Fig. 102 und 103) von 30 bis 60 Ampère	25·0
Hebelausschalter (I. Seite 130, Fig. 102 und 103) von 60 bis 120 Ampère	34·0
Hebelausschalter (I. Seite 130, Fig. 102 und 103) von 120 bis 210 Ampère	50·0
Hebelausschalter (I. Seite 130, Fig. 102 und 103) von 210 bis 300 Ampère	67·0
Messerausschalter (I. Seite 130, Fig. 104) bis 30 Ampère	25·0
" " " " 60 "	30·0
Bipolare Ausschalter bis 30 Ampère	25·0
" " " 60 "	34·0
" " " 120 "	42·0
Voltmesserumschalter (I. Seite 135, Fig. 117 bis 119) für 1 Leitung	25·0
Voltmesserausschalter (I. Seite 135, Fig. 117 bis 119) für 2 Leitungen	30·0
Ausschalter in Schieferdose mit Sicherung (I. Seite 133, Fig. 111 und 112) bis 3 Ampère	3·0
Ausschalter in Schieferdose mit Sicherung (I. Seite 133, Fig. 111 und 112) bis 10 Ampère	5·0
Steckkontakt mit Glühlampenfassung	9·0

166. Preise von Sicherungen. Die in der folgenden Tabelle angegebenen Sicherungen für kleinere Lampengruppen sind bipolar, auf Schiefer, Porzellan, Marmor, Glas oder Serpentin montirt, vollständig feuersicher und leicht und gefahrlos auswechselbar. Für größere Stromstärken finden Bleistreifen mit Metallenden-Fassung Verwendung; dieselben sind durch massive Metallklötze mit den Leitungen verbunden. Die Auswechslung dieser Sicherungen ist bequem, der Kontakt vollkommen.

Tabelle.
Preise von Sicherungen.

Sicherung	Preis in Mark
Bleisicherung, bipolar (Seite 125, Fig. 95)	3·4
„ „ „ „ 96)	4·2
„ „ „ „ 97)	6·0
Bleistöpsel hierzu (Seite 124, Fig. 91 bis 94)	0·5
Staniolsicherung, unipolar, in Glashülse (Seite 123, Fig. 82)	0·6
Staniolsicherung mit Patrone in Dosenform (Seite 123, Fig. 87 und 88)	0·6
Staniolsicherung, bipolar, mit Patrone	1·8
Patrone hierzu	1·3
Porzellanbleisicherung (Seite 123, Fig. 86)	1·1
Bleistreifen mit Metallendenfassung, groß zu Seite 125, Fig. 98	1·8
„ „ „ mittel „ „	1·5
„ „ „ klein „ „	1·3
Anschlussklötze hierzu für 50 Ampère	1·0
„ „ „ 500 „	2·8
Bleibügel (Seite 124, Fig. 89 und 90)	2·0
Blitzschutzvorrichtung mit 2 Anschlüssen	5·0

167. Preise des Isolationsmateriales. In der nächsten Tabelle sind die Preise verschiedener, bestimmter Isolationsmateriale enthalten. Der Tabelle wurde das Porzellan als Isolationsmaterial zugrunde gelegt; an dessen Stelle treten auch Glas, Steingut u. s. w.

168. Preise von Leitungsmaterial. Der Preis einer Leitung hängt von der Art des Leiters, der Art der Isolation desselben und von dem Preise des Rohkupfers ab. Ein massiver Leiter ist billiger als ein litzenförmiger.

Ein litzenförmiger, blanker Leiter aus 7 Kupferdrähten zu je 1·3 *mm* Durchmesser kostet für je 100 *m* 32 Mark.

Tabelle.

Preise von Isolationsmaterial.

Isolationsmaterial	Preis in Mark
Pfeifeneinführung aus Porzellan (Seite 176, Fig. 181 u. 182)	0·75
Muscheleinführung (Seite 177, Fig. 183 u. 184) . .	0·75
Porzellanklemmen mit Schrauben (Seite 190, Fig. 210)	0·09—0·67
Porzellaneinführungsrohr (Seite 177, Fig. 185) . . .	0·15—1·00
Porzellanisolationsrolle	0·05—0·20
Porzellanisolator mit Stütze (Seite 171, Fig. 167) . .	0·67—2·10
„ „ „ und Sicherung	3·40
Zweinutige, impräg. Holzleisten mit gehobeltem Deckel für 1 *m*	0·30—1·40
Kautschukisolirleinwand für 1 *m*	5·00
Kautschukschläuche 3 *mm* lichte Weite	0·24
„ 6 „ „ „	0·56
„ 10 „ „ „	0·92
Hartgummirohre 8 „ „ „	0·30
„ 12 „ „ „ . . .	0·60
Isolirband (Manson Tape) 1 Stück	8·30

Ein litzenförmiger, blanker Leiter aus 19 Kupferdrähten zu je 1·3 *mm* Durchmesser kostet für je 100 *m* 70 Mark.

Ein litzenförmiger, blanker Leiter aus 37 Kupferdrähten zu je 1·3 *mm* Durchmesser kostet für je 100 *m* 200 Mark.

Ein blanker Leiter von 1·3 *mm* Durchmesser kostet für je 100 *m* 2 M.

Der Preis einer Leitung steigt mit der Anzahl der Isolirhüllen derselben und mit der Art des für dieselbe verwendeten Materiales. In der folgenden Tabelle sind die Leiter bis zu dem Querschnitte von 10 mm^2 blank, dann litzenförmig; aufgenommen erscheinen:

1. Blanke Leitungen.

2. Isolirte Leitungen für trockene Räume. Das Kupfer ist mit Baumwolle umsponnen, mit Leinengarn umflochten und asphaltirt.

3. Feuersicher imprägnirte Leitungen.

Über dem Leiter befindet sich eine doppelte Umspinnung mit Baumwolle, eine Asphaltirung, eine Umflechtung mit Leinengarn und eine feuersichere Imprägnirung. Diese Leitungen sind für trockene Räume bestimmt.

4. Leitungen für feuchte, warme Räume. Verzinkter Kupferdraht erscheint mit einem Gummiband umwickelt, doppelt mit Baumwolle umsponnen, mit Leinengarn umflochten und getheert.

5. Leitungen für feuchte, kalte Räume. Ein mit Guttapercha umpresster Kupferleiter, über welchem sich eine Baumwollumspinnung befindet, ist mit Leinengarn umflochten, getheert und asphaltirt.

6. Bleikabel für oberirdische Leitungen. Mit Baumwolle umsponnene Kupferleiter sind mit einem Bleimantel umpresst.

Tabelle.

Preise der Leitungen in Mark für je 100 *m*.

Kupfer-Querschnitt	Blanke Leitung	Isolirte Leitung für trockene Räume	Feuersicher imprägnirte Leitung	Leitung für feuchte, warme Räume	Leitung für feuchte, kalte Räume	Bleikabel
1·0	1·94	5·46	5·25	11·24	16·49	26·25
1·5	2·89	7·14	7·04	14·18	20·48	29·40
2·5	4·73	9·87	10·08	18·17	28·25	34·65
4·0	6·56	14·07	14·28	24·15	37·80	44·10
6·0	11·34	19·64	19·64	31·50	46·20	52·50
10·0	18·90	29·40	30·45	46·20	71·40	70·35
16·0	30·45	45·15	48·30	69·30	121·80	99·75
25·0	47·25	69·30	72·45	97·65	164·85	136·50
35·0	76·65	95·55	96·60	133·35	202·65	178·50
50·0	108·15	136·50	136·50	180·60	265·65	231·00
70·0	151·20	185·85	186·90	238·35	346·50	325·00
95·0	201·60	244·15	141.50	306·60	451·50	399·00

169. Preise zu dem Hausinstallationssystem S. Bergmann.

Tabelle.

Preise des Materiales zu dem Hausinstallationssystem S. Bergmann (Seite 190 ff.) in Mark.

Material		Durchmesser der Röhren in *mm*						
		9	11	17	23	29	36	48
Röhren 3 *m* lang, jür je 100 *m*	mit je 1 Muffe	24·25	25·50	36·75	48·00	63·50	102·75	156
	ohne Muffe	20·75	22·50	33·00	43·50	59·50	98·00	150
Ellbogen für je 100 Stück	mit je 2 Muffen	32·50	35·50	43·00	60·00	—	—	—
	ohne Muffe	15·75	17·50	20·50	29·50	—	—	—
Kröpfungsstücke für je 100 Stück	mit je 2 Muffen	53·50	58·00	70·00	97·00	—	—	—
	ohne Muffe	37·00	40·00	48·00	65·00	—	—	—
Verbindungsmuffen für je 10 Stück	aus Metall	6·30	7·00	9·10	13·00	—	—	—
	aus Isolirmasse	—	—	—	—	10·00	12·00	15·00
Messingbänder für je 1 Groß		1·10	1·40	2·40	3·15	3·95	5·25	—
Setzeisen zum Einschlagen der Krampen für je 1 Stück		0·45	0·50	0·60	0·70	0·85	1·00	—

Vertheilungskasten aus Isolirmasse kosten für 4 Stromkreise des Zweileitersystemes 3·15 Mark, für die 4 Stromkreise des Dreileitersystemes 3·85 Mark, der Metalldeckel dazu 4·75 Mark. Die Preise der Zwillingsleitungen für je 100 Mark stellen sich folgend:

Zwillingsleitung 2·7 mm^2 350 Mark.
„ 3·6 „ 476 „
„ 6·3 „ 600 „

2. Durchschnittspreise der motorischen Einrichtung.

170. Preise von Kesseln. Cirkulations-Wasserrohr-Dampfkessel, Dampfspannung 10 Atm.

Tabelle.

Preise von Kesseln.

Heizfläche in m^2	Gewicht des vollständigen Kessels in *kg*	Preis des Kessels sammt Ausrüstung in Mark
28	5200	3800
40	7000	5000
54	8600	6200
71	10500	7400
100	13000	9400
140	16800	12000
250	27500	18000

171. Preise von Dampfmaschinen.

Tabelle.

Preise der Compoundmaschinen mit Kondensation.

Umdrehungen in der Minute				Preis in Mark
60	70	80	90	
Leistung in *HP*				
28	32	37	42	8400
38	45	51	57	9300
49	57	65	73	10000
77	89	102	115	13000
94	109	125	140	14000
122	142	163	—	18000
152	177	202	—	20000

Die Leistungen sind unter Voraussetzung von 6 Atm. Ueberdruck als Admissionsspannung im Hochdruckcylinder und 10facher gesammter Expansion angegeben.

172. Preise von Gasmotoren. Für die elektrische Beleuchtung sind nur solche Gasmotoren verwendbar, welche sich durch einen vollkommen gleichmäßigen Gang auszeichnen. Diese Eigenschaft besitzen hauptsächlich nur die Zwillingsmotoren. Eincylindermotoren können bei der Kraftübertragung und in jenen Betrieben Verwendung finden, in welchen eine geringe Aenderung in der Umdrehungszahl belanglos erscheint.

Tabelle.
Preise von Eincylindermotoren.

Größe der Maschine in effektiven *HP* . . .	1/8	1/4	1/2	1	2	3	4	5	6	8	10
Umdrehungen in der Minute	300	270	200	200	180	180	170	170	170	170	170
Nettogewicht in *kg* . . .	125	165	350	500	700	750	900	950	1300	1450	1700
Preis in Mark	750	800	900	1100	1500	1700	2200	2400	2800	3200	4000

Tabelle.
Preise von Zwillingsmotoren.

Größe der Motoren in effektiven *HP* . . .	10	12	15	20	30	40	60
Umdrehungen in der Minute	170	170	160	160	150	150	150
Nettogewicht in *kg* . .	2600	3000	4300	5000	6200	10000	12000
Preis in Mark	4000	4500	5200	6000	7500	9300	13000

Der Gaskonsum bei den Motoren der Maschinenbau-Gesellschaft in München beträgt etwa 1/2 bis 1 m^3 in 1 Stunde und für 1 Pferdekraft; derselbe ändert sich mit der Qualität des Gases und mit der Größe der Motoren. Dieselben reguliren den Gasverbrauch je nach der Leistung selbstthätig.

3. Praktische Regeln.

173. Praktische Regeln. In der elektrotechnischen Praxis handelt es sich häufig darum, augenblickliche Schätzungswerte von Beleuchtungs- oder Kraftübertragungseinrichtungen anzugeben. Zu diesem Zwecke bedient man sich der folgenden oder ähnlicher Regeln.

1. Die elektrische Einrichtung kostet für eine Glühlampe zu 16 *NK* bei einer kleinen Anlage 34, bei einer großen 30 Mark; für eine Bogenlampe zu 8 Ampère etwa 10 mal soviel als für eine Glühlampe zu 16 *NK*.

Bei einer Anlage zu 10 Glühlampen kostet die einzelne Lampe etwa 60 Mark.

Bei einer Anlage zu 100 Glühlampen kostet die einzelne Lampe etwa 40 Mark.

Bei einer Anlage zu 300 Glühlampen kostet die einzelne Lampe etwa 30 Mark.

Bei einer Anlage zu 1000 Glühlampen kostet die einzelne Lampe etwa 25 Mark.

2. Die motorische Anlage ist 10 bis 20 % theuerer als die gesammte elektrische.

3. Die Leitung für eine Glühlampe stellt sich etwa auf 8 Mark.

4. Bei den größten Anlagen kostet die Brennstunde einer 16 *NK* Glühlampe unter den günstigsten Verhältnissen mindestens 2 Pf.; dabei ist eine jährliche Anzahl von mindestens 1100 Brennstunden vorausgesetzt.

Anhang.

Sicherheitsvorchriften für den elektrischen Betrieb.

174. Allgemeines. Gesetzliche Bestimmungen für den elektrischen Betrieb bestehen keine. Die bis jetzt verfassten Sicherheitsvorschriften sind von dem elektrotechnischen Verein in Wien,[1]) der Feuerversicherungs-Gesellschaft in Magdeburg,[2]) der Allgemeinen Elektricitätsgesellschaft in Berlin, der Feuerversicherungsgesellschaft „Phönix" in London[3]) und von den Verwaltungen mehrerer Centralanlagen aufgestellt worden.

175. Sicherheitsvorschriften für elektrische Starkstromanlagen.[1])

A. Apparate zur Erzeugung, Aufspeicherung und Umwandlung des elektrischen Stromes.

(Elektrische Maschinen, Transformatoren, Akkumulatoren, Batterien u. s. w.)

Aufstellung.

1. Die Aufstellung von Apparaten zur Erzeugung, Aufspeicherung und Umwandlung des elektrischen Stromes darf nur in Räumen erfolgen, in denen sich keine leicht entzündlichen oder explosiven Stoffe befinden.

Besondere Vorkehrungen.

2. Wird bei der Erzeugung, Aufspeicherung oder Umwandlung des elektrischen Stromes die Luft in gesundheitsschädlicher Weise verändert oder Wärme in größerer Menge entwickelt, so sind für die Aufstellung dieser Apparate abgeschlossene, für anderweitige Arbeiten nicht zu benützende Räume zu verwenden, welche

---

[1]) Zeitschrift für Elektrotechnik, Wien, IX., 1891, S. 409 ff. Ausgearbeitet von einem aus den nachgenannten Mitgliedern des elektrotechnischen Vereines in Wien zusammengesetzten Comité: Max Déri, Friedrich Drexler, Franz Fischer, Gustav Frisch, Moritz Fröschl, Carl Hochenegg (Obmann des Comités), Josef Kareis, Josef Kolbe (Schriftführer), Carl Schlenk, T. W. W. Melhuish, Dr. A. v. Waltenhofen, W. v. Winkler.

[2]) Vademekum für Elektrotechniker, 7. Jahrg. Seite 226.

[3]) Deutsch von Dr. O. May, Leipzig, 1891.

behufs Lüftung mit entsprechenden, ins Freie führenden Abzügen zu versehen sind.

3. Wenn die Apparate zur Erzeugung, Aufspeicherung oder Umwandlung des elektrischen Stromes Stromkreisen angehören, in welchen Spannungsunterschiede von mehr als 300 Volt bei Gleichstrom oder 150 Volt bei Wechselstrom auftreten, so muss:

a) Deren Aufstellung in besonderen, anderweitig nicht benützten oder besonders abgegrenzten Räumen erfolgen;

b) durch auffallende Aufschriften in nächster Nähe der Apparate vor der Berührung derselben gewarnt werden;

c) eine besondere Isolation[1]) der Apparate von der Erde, beziehungsweise der betreffenden Apparattheile von dem tragenden Gestelle, vorgesehen werden;

d) Vorsorge getroffen werden, dass nur isolirte Personen die stromführenden Theile des Apparates berühren können (z. B. durch Isolirung des Fußbodens).

B. Leitungen.

Querschnitt.

4. Der Querschnitt der Leitungen und aller Verbindungen, welche zur Fortleitung des Stromes zwischen den Stromerzeugern, den Apparaten zur Aufspeicherung oder Umwandlung des Stromes untereinander, sowie zwischen diesen und den Verbrauchsstellen des Stromes dienen, sind so bemessen, dass durch den stärksten auftretenden Strom eine feuergefährliche oder die Isolirung gefährdende Erwärmung derselben nicht bewirkt werden kann.

Die zulässige stärkste Betriebsbeanspruchung für Leitungsdrähte ist nach den Formeln $J = \sqrt{H \,.\, Q^{3/2}}$ bezw. $D = \sqrt{\frac{H}{Q^{1/2}}}$ zu berechnen, in welchen J die größte zulässige Betriebsstromstärke in Ampère, D die zulässige Stromdichte (Ampère für 1 Quadratmillimeter), Q den Querschnitt des betreffenden Leitungsdrahtes in Quadratmillimetern und H die Leitungsfähigkeit des Leitungsmateriales gegen Quecksilber bedeuten.

Leitungsseile können um 10 Percent stärker beansprucht werden.

Hiernach können Kupferdrähte mit einer Leitungsfähigkeit von 95 Percent des chemisch reinen Kupfers durch den stärksten Betriebsstrom in folgender Weise beansprucht werden, und zwar Drähte von:

---

[1]) Als Isolirmaterial genügt in trockenen Räumen Holz mit heißem Leinöl, Theer, Asphalt oder dgl. getränkt, während wenn Feuchtigkeit zu gewärtigen ist, Kautschuk, Glas, Porzellan und dergl. feuchtigkeitsbeständige Isolirmaterialien zu wählen sind.

$2^1/_2$ *mm*	Drchmess.	beziehngsw.	von	5	mm^2	mit	5	Ampère	für	1 mm^2,
4	"	"	"	13	"	"	4	"	"	"
7	"	"	"	40	"	"	3	"	"	"
16	"	"	"	200	"	"	2	"	"	"
64	"	"	"	3250	"	"	1	"	"	".

Bei Elektromotoren, Bogenlampen und dergl., bei deren Einschaltung vorübergehend eine höhere, als die gewöhnliche Betriebsstromstärke auftritt, sind die Leitungen für diese höhere Stromstärke zu bemessen.

5. Die Anwendung von Leitungsdrähten unter 1 *mm* Durchmesser ist nicht gestattet. Ausgenommen hiervon sind Drähte für Beleuchtungskörper, bei welchen noch ein Durchmesser von 0·7 *mm* zulässig ist; ferner Drähte für Leitungsseile.

Sicherung der Leitungen.

6. Zur Sicherung gegen zu starke Ströme sind die Leitungen durch selbstthätige Stromunterbrecher (Sicherungen, Punkt 29) zu schützen, welche in verlässlicher Weise verhindern, dass der Strom selbst in den schwächsten Ausläufern der von ihnen geschützten Leitungsgruppen das $1^1/_2$fache der nach Punkt 4 zulässigen stärksten Betriebsbeanspruchung übersteigt.

Diese selbstthätigen Stromunterbrecher müssen, von der Stromquelle ausgehend, vor den Anfang der betreffenden Leitung, beziehungsweise der betreffenden Leitungsgruppe eingeschaltet sein und in jedem Pol der Leitung angebracht werden.

Isolation.

7. Der Isolationswiderstand[1]) eines Leitungsnetzes gegen die Erde oder zwischen Theilen derselben Leitung muss, insoweit Spannungsunterschiede vorkommen, mindestens 5000 $\frac{E}{J}$ Ohm betragen, worin E den größten Spannungsunterschied in Volt zwischen den betreffenden Leitungen untereinander, sowie gegen die Erde, und J die Stromstärke in Ampère bedeutet.

In solchen Fällen, in welchen infolge großer Feuchtigkeit der die Leitung umgebenden Atmosphäre der angegebene Isolationswiderstand

[1]) Die Isolationsmessungen sind bei Betriebsspannungen bis zu 150 Volt mit demselben größten Spannungsunterschiede, welcher beim wirklichen Betriebe vorkommt, vorzunehmen. Bei höheren Betriebsspannungen kann hiervon Abstand genommen werden, jedoch soll dann vor der Isolationsmessung, welche mit wenigstens 150 Volt durchzuführen ist, das betreffende Leitungsmaterial eine Belastungsprobe mit der mindestens doppelten Betriebsspannung bestanden haben.

nicht erreicht werden kann, (wie beispielsweise bei Brauereien, Färbereien, elektrischen Bahnen), ist unter folgenden Bedingungen auch eine geringere Isolation zulässig:

a) Die Leitung muss ausschließlich auf Isolatoren aus feuer- und feuchtigkeitsbeständigem Isolirmaterial und so geführt sein, dass eine Feuersgefahr infolge Stromableitung dauernd ganz ausgeschlossen ist;

b) bei Spannungen von mehr als 150 Volt bei Wechselstrom oder 300 Volt bei Gleichstrom muss eine zufällige Berührung nicht genügend isolirter Theile der Leitung durch unbetheiligte Personen unmöglich sein.

Blanke Leitungen.

8. Blanke Leitungen dürfen nur auf Isolatoren aus feuchtigkeits- und feuerbeständigem Isolirmaterial und derart angebracht werden, dass eine zufällige Berührung derselben durch unbetheiligte Personen und eine Berührung der Leitungen untereinander sowie mit anderen Körpern, als den isolirenden Unterstützungen, ausgeschlossen erscheint. Dieselben sollen daher:

a) Ueberall dort, wo unbetheiligte Personen verkehren, in einer Höhe von mindestens 3·5 Meter über dem höchsten Standpunkte derselben angebracht sein oder mit einer Schutzhülle umgeben werden;

b) in einem lichten Abstande von fremden, schlecht leitenden Körpern gehalten werden, welcher in geschlossenen Räumen mindestens 10 *mm*, im Freien mindestens 50 *mm* beträgt;

c) in einem lichten Abstande von fremden, leitenden Körpern (Metalltheilen) und von einander angebracht werden, welcher in geschlossenen Räumen mindestens $10 + \sqrt{E}$, im Freien mindestens $50 + \sqrt{E}$ Millimeter beträgt, wobei E den auftretenden größten Spannungsunterschied in Volt bedeutet. Nur Drähte und Kabel, welche unausschaltbare Zweige einer und derselben Leitung bilden, können in geringerem Abstande, ja selbst in leitender Berührung mit einander geführt werden.

In Fällen, wo zwischen den Unterstützungspunkten eine Annäherung der Leitungen gegeneinander oder gegen fremde Körper eintreten kann, ist der unter *b)* und *c)* festgesetzte lichte Abstand noch um $\frac{1}{200}$ des Abstandes der Unterstützungen zu vermehren.

Wenn die Leitungen an einzelnen Stellen zwischen den Unterstützungspunkten noch durch besondere Verstrebungen in festem Abstande von einander oder von fremden Körpern gehalten werden,

so gilt bei der Berechnung des Zuschlages die Entfernung dieser Verstrebungen.

Falls infolge des Durchhanges eine Verringerung des Abstandes der Leitungen untereinander oder gegen fremde Körper eintreten könnte, oder, falls die fremden Körper beweglich sind (Laufkrahne, Riemen u. s. w.), ist deren äußerste Lage für die Bestimmung des geringsten Abstandes maßgebend.

Isolirte Leitungen.

9. Isolirte, d. h. mit isolirenden Stoffen eingehüllte Leitungen müssen, sofern sie nicht unter die in Punkt 10. behandelten besonders isolirten Leitungen gehören, im Allgemeinen ebenso wie blanke Leitungen behandelt werden, können jedoch, wenn Feuchtigkeit nicht zu befürchten ist, bei Spannungen unter 250 Volt bei Wechselstrom und 500 Volt bei Gleichstrom in einer auch für unbetheiligte Personen zugänglichen Weise Anwendung finden.

Besonders isolirte Leitungen.

10. Besonders isolirte Leitungen, das sind solche, welche 24 Stunden unter Wasser gehalten, noch einen Isolationswiderstand gegen Wasser von mindestens $500 . E$ Ohm für 1 Kilometer und bei $15^0\, C$ aufweisen (wobei E den größten Betriebs-Spannungsunterschied in Volt bedeutet), können in unmittelbarer Nähe von einander und von fremden Körpern geführt werden.

Besondere Vorkehrungen.

11. Das Isolirmaterial besonders isolirter Leitungen muss, falls durch vorhandene oder zu gewärtigende Feuchtigkeit (Wasser) eine leitende Verbindung des Leiters mit anderen Leitern oder mit fremden nicht isolirten Körpern zu befürchten ist, entweder selbst vollkommen zusammenhängend, feuchtigkeitsbeständig und wasserundurchlässig sein (Guttapercha, Gummi u. dgl.), oder es muss dasselbe mit einer vollkommen feuchtigkeitsbeständigen und wasserundurchlässigen Schutzhülle (z. B. Bleimantel) umgeben werden, so dass trotz der fortwährenden Einwirkung der Feuchtigkeit mindestens der unter Punkt 10. verlangte, geringste Isolationswiderstand dauernd erhalten bleibt.

12. Beim Uebergang von Leitungen aus dem Freien oder aus feuchten Räumen in trockene Räume sind gegen das der Leitung entlang fließende Wasser, sowie gegen schädigenden Einfluss von Feuchtigkeit, besondere Vorkehrungen zu treffen (Abtropfkrümmungen, Einführungstrichter u. dergl.).

13. Sind die Leitungen chemischen Einflüssen ausgesetzt (z. B. in der sie umgebenden Atmosphäre oder dem Boden, beziehungsweise dem Mauerwerk u. s. w., worin sie verlegt sind), wodurch das Isolirmaterial oder die Leitungen selbst angegriffen werden könnten, so ist für ausreichenden Schutz gegen diese Einflüsse zu sorgen.

14. Wo die Leitungen oder deren Umhüllungen schädigenden mechanischen Einflüssen (Reibung, Biegung, Quetschung und dergl.) ausgesetzt sind, muss für entsprechende Widerstandsfähigkeit oder ausreichenden Schutz Sorge getragen werden.

Kanäle für Leitungen.

15. Alle zur Aufnahme elektrischer Leitungen dienenden Kanäle sollen mit ausreichender Sicherheit hergestellt werden, um jeder Beschädigung und hauptsächlich, wenn sie im Straßengrunde liegen, den drohenden Belastungen durch schweres Fuhrwerk und dergl. sicher Stand halten zu können.

Wenn die Leitungen in Kanälen nicht durchgehends besonders und wasserbeständig isolirt sind, sollen Vorkehrungen getroffen werden, damit Wasseransammlungen bis zu den weniger geschützten Stellen nicht stattfinden können. Wo Gasleitungen in demselben Kanal geführt sind, ist für eine entsprechende Lüftung Sorge zu tragen, welche die Ansammlung brennbarer oder explosiver Gase unmöglich macht.

Periodische Untersuchungen.

16. Leitungen, welche gegen mechanische oder chemische Einflüsse nicht ausreichend geschützt werden können, sind jährlich einmal hinsichtlich der Bestimmungen dieser Vorschriften, und zwar besonders auf genügenden Querschnitt und entsprechende Isolation zu untersuchen und erforderlichen Falles in ordnungsmäßigen Zustand zu bringen.

Desgleichen müssen alle jene Leitungsanlagen, welche dauernd ausser Betrieb gesetzt wurden oder schädigenden Ereignissen (wie beispielsweise Ueberschwemmung, Feuer, Adaptirung des Gebäudes u. s. w.) ausgesetzt waren, vor Wiederinbetriebsetzung geprüft und in Stand gesetzt werden.

Blitzschutz.

17. Zum Schutze gegen Blitzgefahr sind Leitungsnetze, welche außer dem Bereiche schützender Gebäude ganz oder theilweise oberirdisch geführt sind, mit entsprechenden Blitzschutzvorrichtungen zu versehen.

Auf die Herstellung einer guten „Erde“ ist besondere Sorgfalt zu verwenden, weshalb auch gut ableitende Metallbestandtheile der Anlage und der Baulichkeiten, wie Rohrleitungen, Träger, Säulen und dergl. als Erdleitung heranzuziehen sind.

Leitungen für hochgespannte Ströme.

18. Leitungen für hochgespannte Ströme, d. i. für Spannungen über 500 Volt bei Gleichstrom, beziehungsweise 250 Volt bei Wechselstrom, müssen stets in einer für unbetheiligte Personen unzugänglichen Weise verlegt werden.

Dieselben sollen daher:

a) als blanke Leitungen nur im Freien und mindestens 5 *m* über dem Boden, sowie mindestens $2^1/_2$ *m* von denjenigen Gebäudetheilen entfernt angebracht sein, von welchen aus eine Zugänglichkeit der Leitungen möglich wäre; z. B. Dach, Fenster, Balkon und dergl. Die Lage dieser Leitungen soll der betreffenden Ortsfeuerwehr bekannt gegeben werden;

b) ins Innere von Gebäuden, die unbetheiligten Personen zugänglich sind, nur als besonders isolirte Leitungen geführt werden, welche mit einem gegen Beschädigungen schützenden widerstandsfähigen Mantel (Eisenband, Eisenrohr und dergl.) umgeben sein müssen, der, falls eine elektrische Ladung desselben zu gewärtigen ist, mit der Erde in leitender Verbindung stehen soll.

19. Die Befestigung der Leitungen auf ihren Unterlagen ist derart vorzunehmen, dass mechanische Verletzungen der Leitungen dadurch nicht entstehen können. Auch gegen die schädliche Einwirkung des Rostes bei Verwendung eiserner Befestigungsmittel muß Vorsorge getroffen werden. Es ist daher insbesondere das Annageln der Leitungen vermittelst Drahtklammern, Nägeln oder dergl. nicht gestattet.

Festigkeit der Leitungsanlage.

20. Frei geführte Leitungen sollen sammt ihren Stützen gegen allzu große Beanspruchung, hauptsächlich zufolge Temperaturveränderung, Winddruck und dergl. geschützt sein. Für die Leitungen, Spanndrähte und dergl. soll mindestens sechsfache Sicherheit, für alle übrigen Theile des Baues eine zwölffache Sicherheit hinsichtlich der Elasticitätsgrenze vorgesehen werden, wobei als Winddruck 250 *kg* auf 1 m^2 angenommen werden soll. Für die übrigen außergewöhnlichen Belastungen durch Schnee, Reif u. s. w. ist kein Zuschlag mehr nöthig.

Kreuzung der Leitungen.

21. In Fällen, wo blanke Leitungen übereinander angebracht sind, so dass durch das Reißen der einen Leitung eine Berührung derselben mit einer anderen eintreten kann, muss, falls hierdurch ein Unglücksfall möglich ist (also hauptsächlich, wenn eine der Leitungen eine Telegraphen-, Telephon- oder andere Signalleitung ist), durch Anbringung entsprechender isolirender Schutzmittel, z. B. einer isolirenden Umhüllung oder Bedeckung des unteren Drahtes, gegen eine unmittelbare leitende Berührung der Leitungen Vorsorge getroffen werden. Ueberdies müssen in solchen Leitungen vor und hinter den gefährdeten Stellen entsprechend bemessene, selbstthätige Stromunterbrecher (Sicherungen, Punkt 29) angebracht werden.

Verbindungen.

22. Die Verbindung von Leitungen untereinander, sowie mit Apparaten und Apparattheilen, darf nur durch Verschraubung, Klemmverbindung oder durch Verlöthung hergestellt werden. Dabei muss die Verbindungsstelle mindestens den doppelten Leitungsquerschnitt aufweisen, welchen die damit angeschlossene Leitung besitzt, und es muss der Kontakt ein guter und sicherer sein, so dass daselbst weder eine stärkere Erwärmung als an den übrigen Stellen der Leitung auftritt, noch eine selbstthätige Lockerung der Verbindung möglich erscheint. Es ist deshalb nothwendig, die Kontaktflächen vor der Verbindung sorgfältig metallisch rein zu machen, vor der Verlöthung noch überdies zu verzinnen und dafür zu sorgen, dass eine innige Berührung der Kontaktflächen stattfinde, beziehungsweise das Loth die ganze Verbindungsstelle durchdringt.

Bei der Löthung darf als Löthmittel nur ein Löthsalz, welches keine freien Säuren enthält, Verwendung finden.

Wenn die Verbindung einer Zugbeanspruchung ausgesetzt werden sollte, so ist entweder eine besondere Befestigung der Leitung unmittelbar neben der Verbindungsstelle vorzusehen oder eine entsprechende Ausführung der Verbindung anzuwenden, welche eine Lockerung derselben verhindert.

Bei Verbindung isolirter Leitungen ist die Isolirung an der Verbindungsstelle, in einer der übrigen Isolirung gleichwertigen Weise, wieder herzustellen oder die betreffende Stelle mit einem besonderen Schutzkasten zu umgeben. In beiden Fällen muss die Verbindungsstelle jederzeit leicht auffindbar und möglichst bequem zugänglich sein.

Erdleitung.

23. Wenn die Erde oder metallische Körper, welche mit der Erde in leitender Verbindung stehen, wie z. B. Schienenstränge, Gas- und Wasserleitungsröhren, eiserne Träger, Stützen oder andere metallene Baubestandtheile zur Stromleitung verwendet werden, hat man die Verbindung mit der Erde vollkommen sicher herzustellen und gegen die Möglichkeit der unmittelbaren oder mittelbaren Berührung des anderen Poles der Leitung durch Personen, welche von der Erde nicht isolirt sind, umsomehr Vorsorge zu treffen, je höher der in Anwendung kommende Spannungsunterschied ist.

24. Bei ausgedehnten Anlagen mit besonderen Stromquellen sind entweder dauernd eingeschaltete Erdschlussanzeiger oder andere entsprechende Messeinrichtungen anzubringen, mittelst welcher der Zustand der Isolation des Leitungsnetzes jederzeit geprüft werden kann.

25. Bei Neuanlage von Telegraphen-, Telephon- und Signalleitungen sind vorhandene Starkstromleitungen gemäß diesen Vorschriften zu berücksichtigen, so dass eine Gefährdung jener durch diese Starkstromleitungen nicht eintreten kann.

C. Nebenapparate und Lampen.

(Umschalter, Ausschalter, Fassungen, Widerstände, Mess- und Kontrollapparate, Lampen, Beleuchtungskörper u. s. w.)

Querschnitt.

26. Die Querschnitte der stromführenden Theile der Nebenapparate sind derart zu bemessen, dass durch den stärksten Betriebsstrom eine Temperaturerhöhung von mehr als 50° *C* nicht verursacht wird. Bei Apparaten, durch deren Funktion eine höhere Erwärmung bedingt wird, sind gegen die mit derselben verbundene Feuersgefahr besondere, nachstehend angegebene Vorkehrungen zu treffen.

Isolation.

27. Die Isolation der stromführenden Theile der Nebenapparate soll den in Punkt 7 verlangten Isolationswiderstand des betreffenden Leitungsnetzes nicht beeinträchtigen. In Fällen, wo die Isolirung der stromführenden Theile den Bedingungen des Punktes 10. über besonders isolirte Leitungen nicht entsprechen kann, ist für eine besondere Isolirung der Nebenapparate von der Erde, beziehungsweise der betreffenden Apparattheile von den tragenden Theilen, Vorsorge zu treffen. Als Isolirmaterial soll im Allgemeinen ein feuer- und feuchtig-

keitsbeständiges Material gewählt werden. Andere Materialien dürfen nur dort Verwendung finden, wo Feuersgefahr, beziehw. Feuchtigkeit nicht zu befürchten sind.

28. Alle Nebenapparate, welche für Unberufene zugänglich sind, müssen derartige Schutzhüllen erhalten, dass alle blanken, stromführenden Theile vor zufälliger Berührung geschützt sind.

Ausschalter, Umschalter und Sicherungen.

29. Alle Ausschalter, Umschalter und Sicherungen sind so auszuführen, dass die Kontaktflächen genügend groß sind und stets metallisch rein erhalten werden, so dass eine übermäßige Erwärmung derselben (um mehr als 50° *C*) durch den stärksten Betriebsstrom nicht eintreten kann.

Die Unterbrechung des Stromes muss mit einer solchen Geschwindigkeit und auf solche Länge erfolgen, dass der allenfalls auftretende Lichtbogen ohne Schädigung der Kontaktflächen sicher unterbrochen wird, und dass ein Ueberspringen desselben auf andere Stellen ausgeschlossen erscheint. Die Stromunterbrechungsstelle muss von brennbaren Stoffen entfernt gehalten werden, so dass eine Zündung durch Unterbrechungsfunken oder durch abgeschmolzene, beziehungsweise abspringende, glühende Theilchen nicht möglich ist. Die betreffenden Theile solcher Nebenapparate sind auf feuersicheren Unterlagen anzubringen.

In Räumen, wo leicht entzündliche oder explosive Stoffe vorkommen, ist die Anwendung von Ausschaltern, Umschaltern und Sicherungen, welche Funkenbildung ermöglichen, ausnahmsweise nur dann zulässig, wenn ein verlässlicher Sicherheitsabschluss jede Feuers- und Explosionsgefahr ausschließt.

Bei Verwendung von Quecksilber-Kontakten ist für die Reinhaltung derselben und dafür Sorge zu tragen, dass ein Entweichen von Quecksilberdämpfen in schädlichem Maße nicht vorkommen kann.

Jeder selbstthätige Stromunterbrecher (Sicherung) muss eine Angabe über die größte zulässige Betriebsstromstärke tragen, welche laut Punkt 6. mindestens $^2/_3$ der Funktionsstromstärke beträgt. Diese Angabe muss bei Abschmelzsicherungen sowohl am festen, wie am auswechselbaren Theil angebracht werden.

Abschmelzsicherungen sind derart feuersicher einzuschließen, dass das geschmolzene Material nicht heraustropfen kann.

Widerstände (Rheostate).

30. Widerstände, bei welchen eine Erwärmung um mehr als 50° *C* eintreten kann, sind derart anzuordnen, dass eine Berührung zwischen den wärmeentwickelnden Theilen und entzündlichen Materialien, sowie eine feuergefährliche Erwärmung solcher Materialien durch erhitzte Luft nicht vorkommen kann.

Glühlampen.

31. Glühlampen und deren Fassungen müssen in Räumen, wo explosive Stoffe oder brennbare Gase vorkommen, besondere, verlässliche Sicherheitsverschlüsse erhalten; auch dürfen dieselben nicht unmittelbar in brennbare, schlecht wärmeleitende Stoffe gehüllt werden, sondern es muss eine entsprechende Wärmeableitung durch Lüftung oder Vergrößerung der Oberfläche stattfinden.

Bogenlampen.

32. Bogenlampen dürfen in Räumen, wo explosive Stoffe oder brennbare Gase vorkommen, nicht verwendet werden; wo leicht brennbare Körper vorkommen, sind um das Bogenlicht Schutzglocken, mit Drahtgeflecht umgeben, anzubringen. Diese Schutzglocken sollen sicher verhindern, dass abspringende glühende Kohlentheilchen herausfallen, und müssen, wenn umherfliegende brennbare Körper in dem betreffenden Raume vorkommen, deren Zutritt zu dem Lichtbogen hintanhalten.

Beleuchtungskörper.

33. Beleuchtungskörper, in oder an welchen Leitungen geführt werden, die nicht als besonders isolirte gelten können, sind von der Erde, also hauptsächlich von Metallmassen (Gasröhren und dergl.), elektrisch zu isoliren. Dieselben sind stets derart anzuordnen, dass durch ihre Bewegung oder Drehung eine Beschädigung der Leitungen nicht eintreten kann.

Die Rohre von Beleuchtungskörpern, durch welche Leitungen geführt werden, müssen innen glatt sein, d. h. sie dürfen keine scharfen Ecken, Grate oder dergl. haben. Dieselben sind vor dem Einziehen der Drähte zur Entfernung von Splittern, Feilspänen und dergl. sorgfältig zu reinigen und, wenn beim Löthen der Rohre Säuren Verwendung fanden, besonders zu waschen und zu trocknen. Die Rohre metallener Beleuchtungskörper, welche der Feuchtigkeit ausgesetzt sein können, sollen gegen das Eindringen derselben thunlichst geschützt und mit Abflussöffnungen für das Kondensationswasser versehen oder nach dem Einziehen der Drähte mit isolirender Masse ausgegossen werden.

Tabelle.

Durchmesser-Querschnitte und Widerstände für Drähte aus Krupp'schem Widerstandsmaterial.

Durchmesser in *mm*	Querschnitt in mm^2	Gewicht für 1 *m* in *g*	Meterzahl für 1 *kg*	Widerstand für 1 *m* in Ohm	Länge für 1 Ohm in *m*
0·50	0·196	1·588	629·7	4·34300	0·230
0·75	0·442	3·581	279·3	1·92600	0·519
1·00	9·785	6·360	157·2	1·08400	0·922
1·25	1·227	9·941	100·6	0·69380	1·441
1·50	1·767	14·320	69·8	0·48180	2·076
1·75	2·405	19·490	51·3	0·35400	2·825
2·00	3·142	25·460	39·3	0·27090	3·691
2·25	3·976	32·210	31·0	0·21410	4·671
2·50	4·909	39·770	25·1	0·17340	5·767
2·75	5·940	48·130	20·8	0·14330	6·976
3·00	7·069	57·270	17·5	0·12050	8·308
3·50	9·621	77·950	12·8	0·08848	11·302
4·00	12·570	101·840	9·8	0·06772	14·766
4·50	15·900	128·820	7·8	0·05354	18·677
5·00	19·640	159·120	6·3	0·04335	23·071

Specifisches Gewicht [1] 8·102. Absolute Festigkeit für 1 mm^2 60 *kg*, Dehnung in % 22—25, specifischer Widerstand in Mikroohm $\frac{cm}{cm^2}$ mittl. Wert bei 20° *C* [1] 85·13, Temperatur-Coëfficient, mittl. Wert [1] 0·0007007.

Tabelle

über Gewichte und Widerstände von Eisendrähten.

Kreisförmiger Querschnitt (15°), Spec. Gewicht = 7·7, Widerstand von 1 *m* 1 mm^2 bei 15° = 0·10 Ω. [2]

Durchmesser in *mm*	Querschnitt in mm^2	Meterzahl für 1 *kg*	Gewicht für 1 *m* in *g*	Widerstand für 1 *m* in Ohm	Länge für 1 Ohm in *m*
0·5	0·196	662·0	1·51	0 509	1·96
1·0	0·785	165·0	6·05	0·127	7·85
1·5	1·767	73·5	13·6	0·057	17·5
2·0	3·142	41·3	24·2	0·032	31·3
2·5	4·909	26·5	37·7	0·0202	49·6
3·0	7·07	18·4	54·4	0·0141	71·2
3·5	9·62	13·5	74·1	0·0104	98·3
4·0	12·57	10·3	96·8	0·0080	125·0
4·5	16·62	8·20	122·0	0·0063	158·0
5·0	19·64	6·62	151·0	0·0050	200·0
5·5	23·76	5·46	183·0	0·0042	239·0
6.0	28·27	4·60	217·5	0·00352	284·0

[1]) Nach Bestimmungen der Physikal. techn. Reichsanstalt.

[2]) F. Uppenhorn, Kalender für Elektrotechniker, 1894, Seiten 108 und 109.

Widerstand von
für Drahtdurchmesser von 0·05—4·0 *mm* und

Draht-Durchmesser	Kupfer		Phosphor- und Siliciumbronce							
mm	0·016	0·017	0·018	0·019	0·020	0·025	0·030	0·04	0·05	0·06
0·05	8·14	8·65	9·16	9·67	10·19	12·73	15·3	20·4	25·5	30·6
0·10	2·04	2·16	2·29	2·42	2·55	3·18	3·8	5·1	6·4	7·6
0·15	0·91	0·96	1·02	1·08	1·13	1·41	1·70	2·26	2·83	3·4
0 20	0·51	0·54	0·57	0·60	0·64	0·80	0·95	1·27	1·59	1·91
0·25	0·33	0·35	0·37	0·39	0·41	0·51	0·61	0·81	1·02	1·22
0·30	0·226	0·240	0.255	0·269	0·283	0·354	0·424	0·566	0·707	0·849
0·35	0·166	0·177	0·187	0·198	0·208	0·260	0·312	0·416	0·520	0·624
0·40	0·127	0·135	0·143	0·151	0·159	0 199	0·239	0·318	0·398	0·477
0·45	0·101	0 107	0·113	0·120	0·126	0·157	0·189	0·252	0 314	0·377
0·50	0·081	0·087	0·092	0·097	0·102	0·127	0·153	0·204	0·255	0·306
0·55	0·067	0·072	0 076	0·080	0·084	0·105	0·126	0·168	0·210	0·253
0·60	0·057	0·060	0·064	0·067	0·071	0·088	0·106	0 141	0·177	0·212
0·65	0·048	0·051	0·054	0·057	0 060	0·075	0·090	0·120	0·151	0·181
0·70	0·042	0·044	0·047	0·049	0·052	0 065	0·078	0·104	0·130	0·156
0·75	0·036	0·038	0 041	0·043	0·045	0·057	0·068	0·091	0·113	0·136
0·80	0·0318	0·0338	0·0358	0·0378	0·0398	0·0497	0·060	0·080	0·099	0·119
0·85	0·0282	0·0299	0·0317	0·0335	0·0352	0·0441	0·053	0·070	0·088	0·106
0·90	0·0251	0·0267	0·0283	0·0299	0·0314	0·0393	0·047	0·063	0 079	0·094
0·95	0·0226	0·0240	0·0254	0·0268	0·0282	0·0353	0·042	0·056	0·071	0·085
1·00	0·0204	0·0216	0·0229	0·0242	0·0255	0·0318	0·038	0·051	0·064	0·076
1·1	0·0168	0·0179	0·0190	0·0200	0·0210	0·0263	0·0316	0·0421	0·0526	0 063
1·2	0·0141	0·0150	0·0159	0·0168	0·0177	0·0221	0·0265	0·0354	0·0442	0·053
1·3	0·0121	0·0128	0·0136	0·0143	0·0151	0·0188	0·0226	0·0301	0·0377	0·045
1·4	0·0104	0·0110	0·0117	0·0123	0·0130	0·0162	0·0195	0·0260	0·0325	0·039
1·5	0·0091	0·0096	0·0102	0·0108	0·0113	0·0141	0·0170	0·0226	0·0283	0·034
1·6	0·0080	0·0085	0·0090	0·0095	0·0099	0·0124	0·0149	0·0199	0·0249	0·0298
1·7	0·0071	0·0075	0·0079	0·0084	0 0088	0·0110	0·0132	0·0176	0·0220	0·0264
1·8	0·0063	0·0067	0·0071	0·0075	0·0079	0·0098	0·0118	0·0157	0·0196	0 0236
1·9	0·0056	0·0060	0·0064	0·0067	0·0071	0·0088	0·0106	0·0141	0·0176	0·0212
2·0	0·0051	0·0054	0·0057	0·0060	0·0064	0·0080	0·0095	0·0127	0·0159	0·0191
2·2	0·00421	0·00447	0·00473	0·00500	0·00526	0·0066	0·0079	0·0105	0·0132	0 0158
2·4	0·00354	0·00376	0·00398	0·00420	0·00442	0·0055	0·0066	0·0088	0·0111	0·0133
2·6	0·00301	0·00320	0·00339	0·00358	0·00377	0·0047	0·0057	0·0075	0·0094	0·0113
2·8	0·00260	0·00274	0·00292	0·00308	0·00325	0·0041	0·0049	0·0065	0·0081	0·0097
3·0	0·00226	0·00240	0·00255	0·00269	0·00283	0·0035	0·0042	0·0057	0·0071	0·0085
3·2	0·00199	0·00211	0·00224	0·00236	0·00249	0·00311	0·00373	0·00497	0·0062	0·0075
3·4	0·00176	0·00187	0·00198	0·00209	0·00220	0·00275	0·00330	0·00441	0·0055	0 0066
3·6	0·00157	0·00167	0 00177	0·00187	0·00196	0·00246	0·00295	0·00393	0·0049	0·0059
3·8	0 00141	0·00150	0·00159	0·00168	0·00177	0·00221	0·00265	0·00353	0·0044	0·0053
4·0	0·00127	0 00135	0·00143	0·00151	0·00159	0·00199	0·00239	0·00318	0·0040	0·0048

[1]) C. Grawinkel u. K. Strecker, Hilfsb. der Elektrotechnik, 1893, Seiten 4 u. 5.

1 *m* Draht in Ohm
für specifische Widerstände von 0·016—0·60.[1])

Messing	Platin	Eisen	Neusilber etc.					Nickelin, Rheotan, Thermotan, Nickelkupfer		Draht-Durchmesser
0·07	0·08	0·10	0·15	0·20	0·25	0·30	0·40	0·50	0·60	*mm*
36·0	41·0	51·0	76·0	102·0	127·0	153·0	204·0	255·0	306·0	0·05
8·9	10·2	12·7	19·1	25·5	31·8	38·0	51·0	64·0	76·0	0·10
4·0	4·5	5·7	8·5	11·3	14·1	17·0	22·6	28·3	34·0	0·15
2·28	2·55	3·18	4·8	6·4	8·0	9·5	12·7	15·9	19·1	0·20
1·43	1·63	2·04	3·06	4·1	5·1	6·1	8·1	10·2	12·2	0·25
0·99	1·13	1·41	2·12	2·83	3·54	4·24	5·66	7·07	8·49	0·30
0·73	0·83	1·04	1·56	2·08	2·60	3·12	4·16	5·20	6·24	0·35
0·56	0·64	0·80	1·19	1·59	1·99	2·39	3·18	3·98	4·77	0·40
0·44	0·50	0·63	0·94	1·26	1·57	1·89	2·52	3·14	3·77	0·45
0·36	0·41	0·51	0·76	1·03	1·27	1·53	2·04	2·55	3·06	0·50
0·295	0·337	0·421	0·63	0·84	1·05	1·26	1·68	2·10	2·53	0·55
0·248	0·283	0·354	0·53	0·71	0·88	1·06	1·41	1·77	2·12	0·60
0·211	0·241	0·301	0·45	0·60	0·75	0·90	1·21	1·51	1·81	0·65
0·182	0·208	0·260	0·39	0·52	0·65	0·78	1·04	1·30	1·56	0·70
0·158	0·181	0·226	0·34	0·45	0·57	0·68	0·91	1·13	1·36	0·75
0·139	0·159	0·199	0·298	0·398	0·497	0·60	0·80	0·99	1·19	0·80
0·123	0·141	0·176	0·264	0·352	0·441	0·53	0·70	0·88	1·06	0·85
0·110	0·126	0·157	0·236	0·314	0·393	0·47	0·63	0·79	0·94	0·90
0·099	0·113	0·141	0·212	0·282	0·353	0·42	0·56	0·71	0·85	0·95
0·089	0·102	0·127	0·191	0·255	0·318	0·38	0·51	0·64	0·76	1·00
0·074	0·084	0·105	0·158	0·210	0·263	0·316	0·421	0·526	0·63	1·1
0·062	0·071	0·088	0·133	0·177	0·221	0·265	0·354	0·442	0·53	1·2
0·053	0·060	0·075	0·113	0·151	0·188	0·226	0·301	0·377	0·45	1·3
0·045	0·052	0·065	0·097	0·130	0·162	0·195	0·260	0·325	0·39	1·4
0·040	0·045	0·057	0·085	0·113	0·141	0·170	0·226	0·283	0·34	1·5
0·0348	0·0398	0·0497	0·075	0·099	0·124	0·149	0·199	0·249	0·298	1·6
0·0308	0·0352	0·0441	0·066	0·088	0·110	0·132	0·176	0·220	0·264	1·7
0·0275	0·0314	0·0393	0·059	0·079	0·098	0·118	0·157	0·196	0·236	1·8
0·0247	0·0282	0·0353	0·053	0·071	0·088	0·106	0·141	0·176	0·212	1·9
0·0223	0·0255	0·0318	0·048	0·064	0·080	0·095	0·127	0·159	0·191	2·0
0·0184	0·0210	0·0263	0·0395	0·0526	0·066	0·079	0·105	0·132	0·158	2·2
0·0155	0·0177	0·0221	0·0332	0·0442	0·055	0·066	0·088	0·111	0·133	2·4
0·0132	0·0151	0·0188	0·0283	0·0377	0·047	0·057	0·075	0·094	0·113	2·6
0·0114	0·0130	0·0162	0·0244	0·0325	0·041	0·049	0·065	0·081	0·097	2·8
0·0099	0·0113	0·0141	0·0212	0·0283	0·035	0·042	0·057	0·071	0·085	3·0
0·0087	0·0100	0·0124	0·0187	0·0249	0·0311	0·0373	0·0497	0·062	0·075	3·2
0·0077	0·0088	0·0110	0·0165	0·0220	0·0275	0.0330	0·0441	0·055	0·066	3·4
0·0069	0·0079	0·0098	0·0147	0·0196	0·0246	0·0295	0·0393	0·049	0·059	3·6
0·0062	0·0071	0·0088	0·0133	0·0177	0·0221	0·0265	0·0353	0·044	0·053	3·8
0·0056	0·0064	0·0080	0·0119	0·0159	0·0199	0·0239	0·0318	0·040	0·048	4·0

Länge eines Drahtes von
für Drahtdurchmesser von 0·05—4·0 *mm* und

Drahtdurchmesser	Kupfer				Phosphor- und Siliciumbronce					
mm	0·016	0·017	0·018	0·019	0·020	0·025	0·030	0·04	0·05	0·06
0·05	0·123	0·115	0·109	0·103	0·098	0·079	0·065	0·049	0·039	0·0327
0·10	0·49	0·46	0·44	0·41	0·39	0·314	0·262	0·196	0·157	0·131
0·15	1·11	1·04	0·98	0·93	0·88	0·71	0·59	0·44	0·35	0·295
0·20	1·96	1·85	1·75	1·65	1·57	1·26	1·05	0·79	0·63	0·52
0·25	3·07	2·89	2 73	2·58	2·45	1·96	1·64	1·23	0·98	0·82
0·30	4·4	4·2	3·9	3·7	3·5	2·83	2·36	1·77	1·41	1·18
0·35	6·0	5·7	5·3	5·1	4·8	3·85	3·21	2·41	1·92	1·60
0·40	7·9	7·4	7·0	6·6	6·3	5·03	4·19	3·14	2·51	2·09
0·45	9·9	9·3	8·8	8·4	8·0	6·36	5·30	3·98	3·18	2·65
0 50	12·3	11·5	10·9	10·3	9·8	7·85	6·54	4·91	3·93	3·27
0·55	14·9	14·0	13·2	12·5	11·9	9·5	7·9	5·9	4·8	4·0
0·60	17·6	16·6	15·7	14·9	14·1	11·3	9·4	7·1	5·7	4·7
0·65	20·7	19·5	18·4	17·4	16·6	13·3	11·1	8·3	6·6	5·5
0·70	24·0	22·6	21·4	20·2	19·2	15·4	12·8	9·6	7·7	6·4
0·75	27·6	26·0	24·6	23·2	22·1	17·7	14·7	11·0	8·8	7·4
0·80	31·4	29·6	28·0	26·4	25·1	20·1	16·8	12·6	10·1	8·4
0·85	35·4	33·3	31·5	29·8	28·4	22·7	18·9	14·2	11·4	9·5
0·90	39·8	37·4	35·4	33·5	31·8	25·4	21·2	15·9	12·7	10·6
0·95	44·3	41·7	39·4	37·3	35·4	28·4	23·6	17·7	14·2	11·8
1·00	49·1	46·2	43·6	41·3	39·3	31·4	26·2	19·6	15·7	13·1
1·1	59·0	56·0	53·0	50·0	48·0	38·0	31·7	23·8	19·0	15·8
1 2	71·0	66·0	63·0	59·0	57·0	45·0	37·7	28·3	22·6	18·8
1·3	83·0	78·0	74·0	70·0	66·0	53·0	44·2	33·2	26·5	22·1
1·4	96·0	90·0	86·0	81·0	77·0	62·0	51·3	38·5	30·8	25·7
1·5	110·0	104·0	98·0	93·0	88·0	71·0	58·9	44·2	35·3	29·5
1·6	126·0	118·0	112·0	106·0	101·0	80·0	67·0	50·0	40·0	33·5
1·7	142·0	133·0	126·0	119·0	113·0	91·0	76·0	57·0	45·0	37·8
1·8	159·0	149 0	141·0	134·0	127·0	102·0	85·0	64·0	51·0	42·4
1·9	177·0	166·0	158·0	149·0	142·0	113·0	95·0	71·0	57·0	47·3
2·0	196·0	185·0	175·0	165·0	157·0	126·0	105·0	79·0	63·0	52·4
2·2	237·0	223·0	211·0	199·0	190·0	152·0	127·0	95·0	76·0	63·0
2·4	283·0	266·0	251·0	238·0	226·0	181·0	151·0	113·0	90·0	75·0
2·6	332·0	312·0	295·0	279·0	265·0	212·0	177·0	133·0	106·0	88·0
2·8	385·0	362·0	342·0	324·0	308·0	246·0	205·0	154·0	123·0	103·0
3·0	442·0	416·0	393·0	372·0	353·0	283·0	236·0	177·0	141·0	118·0
3·2	503·0	473·0	447·0	423·0	402·0	322·0	268·0	201·0	161·0	134·0
3·4	567·0	534·0	505·0	478·0	454·0	363·0	303·0	227·0	182·0	151·0
3·6	637·0	598·0	565·0	535·0	509·0	407·0	339·0	254·0	204·0	170·0
3·8	708·0	666·0	630·0	596·0	567·0	454·0	378·0	284·0	227·0	189·0
4·0	785·0	738·0	698·0	660·0	628·0	503·0	419·0	314·0	251·0	209·0

[1]) C. Grawinkel u. K. Strecker, Hilfsb. der Elektrotechnik, 1893, Seiten 6 u. 7.

1 Ohm Widerstand in Metern
für specifische Widerstände von 0·016—0·60. [1])

Messing, Platin, Eisen					Neusilber etc.		Nickelin, Rheotan, Thermotan, Nickelkupfer			Drahtdurchmesser
0·07	0·08	0·10	0·15	0·20	0·25	0·30	0·40	0·50	0·60	*mm*
0·0280	0·0245	0·0196	0·0131	0·0098	0·0079	0·0065	0·0049	0·0039	0·0033	0·05
0·112	0·098	0·079	0·052	0·039	0·0314	0·0262	0·0196	0·0157	0·0131	0·10
0·252	0·221	0·177	0·118	0·088	0·071	0·059	0·044	0·035	0·0295	0·15
0·45	0·39	0·314	0·209	0·157	0·126	0·105	0·079	0·063	0·052	0·20
0·70	0·61	0·49	0·327	0·245	0·196	0·164	0·123	0·098	0·082	0·25
1·01	0·88	0·71	0·47	0·35	0·283	0·236	0·177	0·141	0·118	0·30
1·37	1·20	0·96	0·64	0·48	0·385	0·321	0·241	0·192	0·160	0·35
1·80	1·57	1·26	0·84	0·63	0·503	0·419	0·314	0·251	0·209	0·40
2·27	1·99	1·59	1·96	0·80	0·636	0·530	0·398	0·318	0·265	0·45
2·80	2·45	1·96	1·31	0·98	0·785	0·654	0·491	0·393	0·327	0·50
3·4	2·97	2·38	1·58	1·19	0·95	0·79	0·59	0·48	0·40	0·55
4·0	3·53	2·88	1·88	1·41	1·13	0·94	0·71	0·57	0·47	0·60
4·7	4·15	3·32	2·21	1·66	1·33	1·11	0·83	0·66	0·55	0·65
5·5	4·81	3·85	2·57	1·92	1·54	1·28	0·96	0·77	0·64	0·70
6·3	5·52	4·42	2·95	2·21	1·77	1·47	1·10	0·88	0·74	0·75
7·2	6·3	5·0	3·35	2·51	2·01	1·68	1·26	1·01	0·84	0·80
8·1	7·1	5·7	3·78	2·84	2·27	1·89	1·42	1·14	0·95	0·85
9·1	8·0	6·4	4·24	3·18	2·54	2·12	1·59	1·27	1·06	0·90
10·1	8·9	7·1	4·73	3·54	2·84	2·36	1·77	1·42	1·18	0·95
11·2	9·8	7·9	5·24	3·93	3·14	2·62	1·96	1·57	1·31	1·00
13·6	11·9	9·5	6·30	4·80	3·80	3·17	2·38	1·90	1·58	1·1
16·2	14·1	11·3	7·50	5·70	4·50	3·77	2·83	2·26	1·88	1·2
19·0	16·6	13·3	8·8	6·6	5·3	4·42	3·32	2·65	2·21	1·3
22·0	19·2	15·4	10·3	7·7	6·2	5·13	3·85	3·08	2·57	1·4
25·2	22·1	17·7	11·8	8·8	7·1	5·89	4·42	3·53	2·95	1·5
28·7	25·1	20·1	13·4	10·1	8·0	6·7	5·0	4·0	3·35	1·6
32·4	28·4	22·7	15·1	11·3	9·1	7·6	5·7	4·5	3·78	1·7
36·4	31·8	25·4	17·0	12·7	10·2	8·5	6·4	5·1	4·24	1·8
40·5	35·4	28·4	18·9	14·2	11·3	9·5	7·1	5·7	4·73	1·9
44·9	39·3	31·4	20·9	15·7	12·6	10·5	7·9	6·3	5·24	2·0
54·0	48·0	38·0	25·3	19·0	15·2	12·7	9·5	7·6	6·3	2·2
65·0	57·0	45·0	30·2	22·6	18·1	15·1	11·3	9·0	7·5	2·4
76·0	66·0	53·0	35·4	26·5	21·2	17·7	13·3	10·6	8·8	2·6
88·0	77·0	62·0	41·1	30·8	24·6	20·5	15·4	12·3	10·3	2·8
101·0	88·0	71·0	47·1	35·3	28·3	23·6	17·7	14·1	11·8	3·0
115·0	101·0	80·0	54·0	40·0	32·2	26·8	20·1	16·1	13·4	3·2
130·0	113·0	91·0	61·0	45·0	36·3	30·3	22·7	18·2	15·1	3·4
145·0	127·0	102·0	68·0	51·0	40·7	33·9	25·4	20·4	17·0	3·6
162·0	142·0	118·0	76·0	57·0	45·4	37·8	28·4	22·7	18·9	3·8
180·0	157·0	126·0	84·0	63·0	50·3	41·9	31·4	25·1	20·9	4·0

Spannungsverlust

Spannungsverlust

Querschnitt in mm^2	0·5	1	1·5	2	2·5	3
5·50	147·9	295·7	443·6	591·4	739·3	887·1
10·0	263·8	537·6	801.4	1075·0	1339·0	1613·0
12·37	332·5	665·1	997·6	1330·0	1662·0	1995·0
16·0	430·1	860·2	1290·0	1720·0	2150·0	2581·0
21·99	591·1	1182·0	1773·0	2365·0	2956·0	3547·0
25·0	672·0	1344·0	2016·0	2688·0	3360·0	4032·0
33·57	902·4	1805·0	2707·0	3610·0	4512·0	5415·0
35·0	940·9	1882·0	2823·0	3763·0	4704·0	5645·0
50·0	1344·0	2881·0	4032·0	5376·0	6720·0	8065·0
59·70	1605·0	3210·0	4815·0	6419·0	8024·0	9629·0
70·0	1882·0	3763·0	5645·0	7526·0	9408·0	11290·0
95·0	2554·0	5108·0	7662·0	10220·0	12770·0	15320·0
100·87	2922·0	5844·0	8766·0	11690·0	14610·0	17530·0
120·0	3226·0	6451·0	9678·0	12900·0	16130·0	19350·0
150·0	4032·0	8064·0	12100·0	16130·0	20160·0	24190·0
152·82	4108·0	8216·0	12320·0	16430·0	20540·0	24650·0
185·0	4973·0	9946·0	14920·0	19890·0	24870·0	29840·0
204·29	5492·0	10980·0	16480·0	21970·0	27460·0	32950·0
240·0	6452·0	12900·0	19360·0	25810·0	32260·0	38710·0
261·55	7031·0	14060·0	21090·0	28120·0	35160·0	42190·0
310·0	8314·0	16630·0	24940·0	33260·0	41570·0	49870·0
355·98	9570·0	19140·0	28710·0	38280.0	47850·0	57410·0
400·0	10750·0	21510·0	32260·0	43010·0	53750·0	64520·0
464·94	12500·0	25000·0	37500·0	49990·0	62500·0	74990·0
500·0	13440·0	26880·0	40320·0	53760·0	67200·0	80650·0
588·46	15820·0	31640·0	47460·0	63280·0	79100·0	94910·0
621·0	16690·0	33390·0	50080·0	66770·0	83450·0	100200·0
726·50	19520·0	39050·0	58570·0	78100·0	97600·0	117100·0
800·0	21510·0	43010·0	64520·0	86020·0	107600·0	132000·0
1000·0	26880·0		80640·0	107500·0	134400·0	161300·0

Meter-Ampère.

Die mit Decimalstellen versehenen Querschnitte entsprechen Kabeln
Der Widerstandscoëfficient des Kupfers ist zu 1·86 Mikroohm*cm*.
Temperatur von etwa

---

[1]) F. Uppenborn, Kalender für Elektrotechniker, 1894, Seiten 110 und 111.

in Kupferkabeln.

in Volt.[1])

4	6	8	10	12	15	20
1183	1774	2366	2957	3548	4436	5914
2150	3226	4300	5376	6452	8014	10750
2660	3990	5320	6651	7980	9976	13300
3440	5162	6880	8602	10320	12900	17200
4730	7094	9460	11820	14190	17730	23650
5376	8064	10750	13440	16130	20160	26880
7220	10830	14440	18050	21660	27070	36100
7526	11390	15050	18170	22780	28230	37630
10750	16130	21500	26880	32260	40320	53760
12840	19260	25680	32100	38520	48150	64190
15050	22580	30100	37630	45160	56450	75260
20430	30640	40860	51080	61280	76620	102200
23380	35060	46760	58440	70120	87660	116900
25810	38700	51620	64520	77400	96780	129000
32260	48380	64520	80650	96760	121000	161300
32860	49300	65720	82160	98600	123200	164300
39780	59680	79560	99460	119400	149200	198900
43930	65900	87860	109800	121800	164800	219700
51610	77420	103200	129000	154800	193600	258100
56250	84380	112500	140600	168800	210900	281200
66510	99740	133000	166300	199500	249400	332600
76560	114800	153100	191400	229600	287100	382800
86020	129000	172000	215100	258000	322600	450100
79990	150000	200000	250000	300000	375000	499900
107500	161300	215000	268800	322600	403200	537600
126600	189800	253200	316400	379600	474600	632800
133500	200400	267000	333900	400800	500800	667700
146200	234200	292400	390500	468400	585700	781000
172000	264000	344000	430100	528000	645200	860200
215100	322600	430200	537600	645200	806400	1075000

Meter-Ampère.

von Felten & Guilleaume, die anderen solchen von Siemens & Halske. angenommen, was bei einer Leitungsfähigkeit von 57·1 (0° C.) einer 34° C. entspricht.

Tabelle zur Anfertigung von Stromregulatoren aus Nickelindraht.
(spec. W. = 0·45 Ω F. A. Lange.[1])

Durchmesser	Widerstand in Ω für 1 *m*	Länge für 1 Ω	Zulässige Beanspruchung in A
0·10	57·0	17·5 *mm*	0·1
0·15	25·5	39·0	0·2
0·20	14·3	70·0	0·3
0·25	9·3	108·0	0·45
0·30	6·3	159·0	0·6
0·35	4·7	213·0	0·75
0·40	3·3	300·0	1·0
0·45	2·8	360·0	1·05
0·50	2·3	440·0	1·2
0·55	1·9	530·0	1·4
0·60	1·6	630·0	1·6
0·65	1·36	740·0	1·8
0·70	1·17	860·0	2·0
0·75	1·02	980·0	2·25
0·80	0·89	1·12	2·5
0·85	0·80	1·25	2·75
0·90	0·71	1·41	3·00
0·95	0·63	1·59	3·25
1·0	0·57	1·75	3·5
1·1	0·47	2·11	4·0
1·4	0·29	3·42	5·8
1·6	0·22	4·5	7·0
1·7	0·20	5·0	7·8
1·8	0·18	5·7	8·5
1·9	0·16	6·3	9·2
2·0	0·14	7·0	10·0
2·2	0·12	8·4	11·5
2·4	0·10	10·1	13·2
2·6	0·085	11·8	14·8
2·8	0·073	13·7	16·6
3·0	0·064	15·7	18·4

Die zulässige Stromstärke wird für beliebige Stärken gefunden nach der Formel $i = \sqrt{r^3}$ wobei r den Radius des Drahtes in *mm* bedeutet. Der Radius für eine Stromstärke berechnet sich nach der Formel

$$r = \sqrt[3]{\frac{i^2}{100}}.$$

[1]) F. Uppenborn, Kalender für Elektrotechniker, 1894, Seite 109.

Namen- und Sachverzeichnis.

Berichtigungen.

Seite 62, Zeile 15 v. o. lies Kienruß, Coaks- und Retortenkohle Verwendung, statt Kienruß, und Retortenkohle Coaks-Verwendung.

Seite 124, Bild Fig. 29 ist richtig Bild Fig. 92.





